



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE  
MANTENIMIENTO**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE  
NIEBLA SALINA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS  
EN EL LABORATORIO DE CORROSIÓN DE LA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO”**

**Cando Pazmiño Jorge Luis  
Sánchez Carrera Paulo Roberto**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2015**

**E S P O C H**

Facultad de Mecánica

---

**C E R T I F I C A D O D E A P R O B A C I Ó N D E T E S I S**

---

2013-05-28

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**J O R G E L U I S C A N D O P A Z M I Ñ O**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA PARA LA  
REALIZACIÓN DE ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE CORROSIÓN DE LA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**I N G E N I E R O D E M A N T E N I M I E N T O**

---

**Ing. Marco Santillán Gallegos  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

**Ing. Luis López T.  
DIRECTOR DE TESIS**

---

**Ing. Marco Santillán Gallegos  
ASESOR DE TESIS**

---

**E S P O C H**

Facultad de M ecánica

---

**C E R T I F I C A D O D E A P R O B A C I Ó N D E T E S I S**

---

2013-05-28

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

---

**PAULO ROBERTO SÁNCHEZ CARRERA**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA PARA LA  
REALIZACIÓN DE ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE CORROSIÓN DE LA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**I N G E N I E R O D E M A N T E N I M I E N T O**

---

**Ing. Marco Santillán Gallegos  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

**Ing. Luis López T.  
DIRECTOR DE TESIS**

---

**Ing. Marco Santillán Gallegos  
ASESOR DE TESIS**

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JORGE LUIS CANDO PAZMIÑO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE CORROSIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO”

Fecha de Examinación: 2015-02-03

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Fernando González P. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Luis López T DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Marco Santillán G. ASESOR DE TESIS			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Fernando González P  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

**C E R T I F I C A D O D E E X A M I N A C I Ó N D E T E S I S**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:**PAULO ROBERTO SÁNCHEZ CARRERA

**TÍTULO DE LA TESIS:**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE CORROSIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO”

**Fecha de Examinación:**2015-02-03

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Fernando González P. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Luis López T. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Marco Santillán G. ASESOR DE TESIS			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Fernando González P.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

## **D E R E C H O S D E A U T O R Í A**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos –científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Jorge Luis Cando Pazmiño**

---

**Paulo Roberto Sánchez Carrera**

## **DEDICATORIA**

Al finalizar mi vida estudiantil quiero agradecer en primer lugar a Dios por permitirme la salud y vida; de manera muy especial a mis padres Gashito y Cuchita por brindarme siempre su apoyo en todos los aspectos de mi vida, a mis hermanas y sobrinos por encontrarse ahí cuando más los necesitaba, de igual manera a mi esposa Pilybase fundamentales en mi vida y a mi hijo Sebas por ser la razón principal de mi vida y la luz que alumbró mi camino. (6362)

**Jorge Luis Cando Pazmiño**

Culminando esta etapa de mi vida, quiero dedicar la siguiente tesis a Dios, por darme la vida, a mis padres por el esfuerzo y sacrificio que tuvieron hacia mí en mi vida estudiantil, a mis hermanos quienes han sido mi fortaleza en los momentos difíciles, a mis amigos que han aportado de algún modo en el desarrollo de la “Máquina del tiempo”.

**Paulo Roberto Sánchez Carrera**

## **A G R A D E C I M I E N T O**

Queremos expresar un sincero agradecimiento a todas las personas que colaboraron de una u otra forma para nuestra formación profesional y para el desarrollo de la presente tesis.

A Dios por habernos dado la mayor serenidad y paciencia para culminar este gran reto y etapa de nuestra vida.

A nuestros padres que son los mayores ejemplos de sacrificio, entrega y amor, al brindarnos siempre todo el apoyo incondicional a pesar de las dificultades que se nos han presentado en la vida estudiantil.

A nuestras familias, hermanos y sobrinos por estar presentes cuando realmente los necesitábamos y guiarnos siempre por buen camino.

A nuestros compañeros de aula y departamento quienes nos han colaborado de varias formas para el cumplimiento de nuestra meta.

A todos los Docentes que en la vida académica nos compartieron todos sus conocimientos y nos regalaron su tiempo para nuestra formación profesional, en especial al Ing. Luis López e Ing. Marco Santillán para el desarrollo y culminación de este proyecto.

**Jorge Luis Cando Pazmiño**

**Paulo Roberto Sánchez Carrera**



## TABLA DE CONTENIDOS

	P á g .
<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>
1.1	Antecedentes ..... 1
1.2	Justificación ..... 2
1.3	Objetivos ..... 2
1.3.1	Objetivo general ..... 2
1.3.2	Objetivos específicos ..... 3
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>
2.1	Corrosión ..... 4
2.1.1	Definición ..... 4
2.1.2	Grandes catástrofes causadas por la corrosión..... 5
2.1.2.1	Explosión del submarino nuclear K-141 KURSK..... 5
2.1.2.2	Accidente laboral en Grupo Holcim en Carboneras (Almería).. ..... 6
2.1.2.3	Desprendimiento de una sección en la proa del barco MV KIRKI. .... 6
2.2	Tipos de corrosión ..... 7
2.2.1	Corrosión general o uniforme. .... 7
2.2.1.1	Ambientes atmosféricos industriales..... 8
2.2.1.2	Ambientes atmosféricos marinos. .... 8
2.2.1.3	Ambientes atmosféricos rurales. .... 8
2.2.2	Corrosión galvánica o bimetalica.. ..... 8
2.2.3	Corrosión por grietas..... 10
2.2.4	Corrosión por picaduras o PITTING ..... 10
2.2.5	Corrosión por fricción o FRETTING ..... 11
2.2.6	Corrosión por cavitación..... 12
2.2.7	Corrosión selectiva. .... 12
2.3	Protección contra la corrosión ..... 13
2.3.1	Granallado (SHOT PEENING) ..... 13
2.3.2	Recubrimientos metálicos por inmersión en caliente. .... 14
2.3.3	Recubrimientos por electrodeposición. .... 15
2.3.4	Anodizado.. ..... 16
2.3.5	Termorociados. .... 17
2.3.6	Recubrimientos con pinturas..... 17
2.4	Ensayos de corrosión ..... 18
2.4.1	Ensayos naturales..... 18
2.4.1.1	Ensayos en el agua o en el mar..... 19
2.4.1.2	Ensayos en la atmósfera..... 19
2.4.1.3	Ensayos en el suelo. .... 20
2.4.2	Ensayos en el laboratorio. .... 20
2.4.2.1	Ensayos de niebla. .... 20
2.4.2.2	Ensayos de inmersión alterna. .... 21
2.4.2.3	Ensayos de inmersión continua. .... 21
2.4.2.4	Métodos electroquímicos..... 21
2.4.3	Obtención de los resultados en ensayos de corrosión. .... 22
2.4.3.1	La superficie del metal. .... 22
2.4.3.2	Investigaciones microscópicas de la superficie. .... 22
2.4.3.3	Investigaciones de las superficies con microscopio electrónico. .... 22
2.4.3.4	Reconocimiento de defectos superficiales (grietas). .... 22
2.4.3.5	Determinación de las variaciones de peso. .... 23
2.4.3.6	Determinación de la disminución de espesor ..... 23
2.4.3.7	Determinación de la naturaleza, profundidad del ataque y de las variaciones de estructura. .... 23

2.5	Cámara de niebla salina.....	24
2.5.1	<i>Definición</i> .....	25
2.5.2	<i>Descripción del ensayo en cámara salina</i> .....	25
2.6	Resumen de la norma ASTM B117 “Salt spray test” .....	25
<b>3.</b>	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA</b>	
3.1	Consideraciones de diseño .....	28
3.1.1	<i>Sistema de oxidación de la cámara de niebla salina</i> .....	30
3.1.2	<i>Sistema de generación de niebla salina</i> .....	33
3.1.2.1	<i>Reserva interna de agua salina</i> .....	34
3.1.2.2	<i>Tanque humificador</i> .....	36
3.1.2.3	<i>Generador de calor</i> .....	37
3.1.2.4	<i>Controlador de temperatura</i> .....	37
3.1.2.5	<i>Difusor de aire</i> .....	38
3.1.2.6	<i>Manómetro para medir la presión del humificador</i> .....	38
3.1.2.7	<i>Atomizador</i> .....	39
3.1.2.8	<i>Válvula check</i> .....	39
3.1.3	<i>Marco estructural de la cámara de niebla salina</i> .....	40
3.1.4	<i>Sistema de control de temperatura de la cámara de niebla salina</i> .....	40
3.1.4.1	<i>Controlador de temperatura</i> .....	41
3.1.4.2	<i>Ventilador</i> .....	42
3.1.5	<i>Sistema de suministro de aire a presión</i> .....	43
3.1.5.1	<i>Unidad de mantenimiento</i> .....	44
3.1.6	<i>Sistema de suministro de solución salina</i> .....	45
3.1.6.1	<i>Tipo de agua utilizada en la nebulización</i> .....	46
3.1.7	<i>Diseño del porta probetas</i> .....	46
<b>4.</b>	<b>PRÁCTICA DE LABORATORIO DE UN ENSAYO DE CORROSIÓN</b>	
4.1	Uso de la cámara de niebla salina.....	48
4.2	Toma de datos del ensayo de corrosión .....	55
4.2.1	<i>Dimensión, forma y marcado de las probetas</i> .....	56
4.2.1.1	<i>Acero AISI-SAE 1045</i> .....	56
4.2.1.2	<i>Acero AISI-SAE 1018</i> .....	57
4.2.1.3	<i>Acero AISI-SAE 1518</i> .....	58
4.2.2	<i>Preparación y selección de las probetas de acero</i> .....	59
4.3	Interpretación de resultado .....	60
4.3.1	<i>Grado de corrosión del metal</i> .....	60
4.3.2	<i>Nivel de degradación de un recubrimiento</i> .....	61
4.3.3	<i>Peso perdido de un material debido a la corrosión</i> .....	62
4.3.4	<i>Cambios en la conductividad eléctrica de un metal</i> .....	64
4.3.5	<i>Cambios en la resistencia a la tracción de un metal</i> .....	64
4.4	Resultados y elaboración de la guía del ensayo de corrosión .....	64
4.5	Plan de mantenimiento de la cámara de niebla salina .....	66
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	Conclusiones .....	67
5.2	Recomendaciones .....	67
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	
	<b>PLANOS</b>	

## LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Potencial eléctrico de algunos metales en agua salada a 25 °C .....	9
2	Ventajas y desventajas del vidrio templado .....	31
3	Propiedades de los vidrios templados .....	32
4	Características técnicas del controlador de temperatura .....	42
5	Especificaciones del tipo de agua según la norma ASTM D 1193: 2001 .....	46
6	Propiedades y aplicaciones Acero AISI –SAE 1045 .....	57
7	Propiedades y aplicaciones Acero AISI –SAE 1018 .....	58
8	Propiedades y aplicaciones Acero AISI –SAE 1518 .....	59
9	Comparación de resultados .....	65
10	Banco de tareas .....	66

## TABLA DE FIGURAS

	Pág.
1 Corrosión de un vehículo .....	5
2 Submarino nuclear K -141 Kursk .....	6
3 Planta cementera del Grupo Holcim en Carboneras .....	6
4 M V KIRKI, se aprecia la pérdida de un panel frontal de proa. ....	7
5 Corrosión uniforme en una puerta.....	8
6 Corrosión galvánica en una chapa.....	9
7 Corrosión en grietas .....	10
8 Corrosión por picadura externa e interna en una cañería de agua.....	11
9 Corrosión por fricción en un buje. ....	11
10 Corrosión por cavitación en una turbina. ....	12
11 Corrosión selectiva.....	13
12 Esquema del proceso de granallado .....	13
13 Galvanizado de piezas de acero .....	15
14 Cromado de pieza metálica .....	15
15 Anodizado. ....	16
16 Termorociado de un eje. ....	17
17 Pintura resistente a la atmósfera. ....	18
18 Ensayo natural de corrosión de una barra de acero .....	19
19 Ensayo en arandelas de diferente material a temperatura ambiente. ....	19
20 Ensayo en cámara de niebla salina .....	21
21 Cámara de niebla salina comercial.....	24
22 Esquema general simplificado de la cámara. ....	28
23 Zona de exposición de la cámara. ....	32
24 Tanque interior de reserva de la niebla salina .....	35
25 Racor de conexión .....	36
26 Tanque humidificador .....	37
27 Serpentin eléctrico para calentar la solución salina en el humidificador .....	37
28 Termostato .....	38
29 Difusor de aire .....	38
30 Manómetro analógico .....	39
31 Pistola aerográfica .....	39
32 Válvula check .....	40
33 Estructura Metálica .....	40
34 Resistencia calorífica de 1500 W .....	41
35 PID digital REX -C100 .....	41
36 Ventilador.....	43
37 Compresor de 2 HP .....	43
38 Unidad de mantenimiento .....	44
39 Tanques externos de reserva .....	45
40 Porta probetas .....	47
41 Porta probetas .....	47
42 Cámara de niebla salina. ....	48
43 Inspecciones del sistema eléctrico.....	49
44 Revisión de válvulas.....	49
45 Tanques de reserva. ....	49
46 Tanque humidificador. ....	50
47 Revisión del nivel de agua. ....	50
48 Probetas en el interior de la cámara.....	51
49 Breaker general. ....	51
50 Controlador de temperatura en la zona de exposición. ....	52

51	Controlador de temperatura del humidificador.....	52
52	Encendido del compresor.....	53
53	Unidad de mantenimiento.....	53
54	Regulador flujo de presión.....	54
55	Pistola atomizadora.....	54
56	Ensayo de corrosión.....	55
57	Resultados obtenidos en el acero AISI-SAE 1045.....	55
58	Acero AISI-SAE 1045.....	56
59	Acero AISI-SAE 1018.....	57
60	Acero AISI-SAE 1518.....	58
61	Preparación de las probetas.....	59

## LISTA DE ABREVIACIONES

<b>H T P</b>	Hidroxitriptofano.
<b>P S I</b>	Libras / Pulgada cuadrada.
<b>N P T</b>	Rosca Cónica para tubos.
<b>S M T</b>	Tecnología de Montaje Superficial.
<b>S S R</b>	Relé de Estado Sólido.
<b>R H</b>	Transmisión de Humedad.
<b>C O T</b>	Carbono Orgánico Total.
<b>C p</b>	Calor Específico.
<b>H B</b>	Dureza Brinell.
<b>H b r</b>	Dureza Rockwell.
<b>K S I</b>	Presión K S I = 1000 P S I.
<b>R C M</b>	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. (ReabilityC entered M aintenance)

## **LISTADO DE ANEXOS**

- A** Clasificación de los tipos de agua según ASTM 1193: 2001.
- B** Tanque humidificador desligado de la cámara de niebla salina.
- C** Clasificación según AISI – SAE: tipos de aceros.
- D** Guía para la realización de ensayos de corrosión en la Cámara de Niebla Salina.
- E** Matriz de criticidad.

## G L O S A R I O

<b>Aleaciones</b>	Una aleación es una combinación de propiedades metálicas, que está compuesta de dos o más elementos, de los cuales, al menos uno es un metal.
<b>Ánodo</b>	Es un electrodo en el que se produce una reacción de oxidación, mediante la cual un material, al perder electrones, incrementa su estado de oxidación.
<b>ASTM B117</b>	Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus Organismo de Normalización de los Estados Unidos de América.
<b>Atomizar</b>	Producir gotas diminutas de un fluido. También se usa pulverización en el sentido de rociar.
<b>Cátodo</b>	Es un electrodo que tiene una carga negativa el cual sufre una reacción de reducción, mediante la cual un material reduce su estado de oxidación al recibir electrones.
<b>Fluido</b>	Un tipo de medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas moléculas sólo hay una fuerza de atracción débil.
<b>Herrumbre</b>	Término general con el que se conoce a varios tipos de óxido de hierro, estos compuestos se forman cuando el hierro es expuesto al agua o a la humedad.
<b>Holcim</b>	Empresa Suiza, líder en el suministro de cementos y áridos (piedra caliza, arena y grava) así como otros materiales como hormigón.
<b>Irradiación solar</b>	Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.
<b>Metal activo</b>	Son aquellos que rápidamente en agua forman bases llamados hidróxidos, como el sodio.



**metal noble** Son un grupo de metales caracterizados por ser muy inertes químicamente, es decir, que no reaccionan químicamente (o reaccionan muy poco) con otros compuestos químicos, Ésta propiedad se traduce en una escasa reactividad, o lo que es lo mismo, son poco susceptibles de corroerse y oxidarse.

**oxidación** La oxidación se da cuando un elemento entra en contacto con el oxígeno. Generalmente ocurre en elementos metálicos expuestos al contacto con oxígeno y agua.

**presión** Es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie.

**Probetas** Un elemento a quien se realiza el ensayo.

**pulverización** Consiste en pulverizar un líquido o reducirlo a partículas muy pequeñas.

**radiación** Proceso de transmisión de ondas o partículas a través de la materia, como las ondas de sonido.

**radiación electromagnética** Es independiente de la materia para su propagación; sin embargo, la velocidad, intensidad y dirección de su flujo de energía se ven influidas.

## RESUMEN

La construcción y puesta a punto de una cámara de niebla salina, tiene como finalidad acelerar el proceso de degradación en distintas probetas metálicas y recubrimientos no metálicos, simulando ambientes corrosivos, que permitirá a los estudiantes realizar prácticas e investigaciones de la reacción que tienen los diferentes tipos de aceros y recubrimientos no metálicos frente al fenómeno de corrosión.

El estudio contempla, conceptos teóricos de los distintos elementos y sistemas utilizados para el diseño y construcción de la cámara, su funcionamiento, y la elaboración del plan de mantenimiento de la cámara de niebla salina.

La cámara de niebla salina se construyó en base a las normas ASTM B-117 la cual establece los parámetros necesarios que se deben cumplir como la correcta selección de materiales, presión de aire, temperatura máxima y mínima dentro de la cámara, tipo de agua para la solución salina.

La cámara de niebla salina fue construida en vidrio templado debido a sus propiedades frente a ámbitos salinos, temperatura y presión. Se utilizó para suministrar calor una resistencia calorífica de 1500 W, un filtro regulador y dosificador de aire a presión, un compresor, humidificador, un tanque interior construido de acrílico y recipientes plásticos que alimentan agua y solución salina al humidificador y tanque interior. Se desarrolló un ensayo de 36 horas al final de la construcción de la cámara de niebla salina para monitorear la evolución de la corrosión en las distintas probetas utilizadas.

## S U M M A R Y

The construction and setting up of a saline mist chamber, has as aim to accelerate the degradation process in various metal pieces and non-metallic coatings, simulating corrosive environments, allowing students to practice and research the reaction that have different types of steels and non-metallic coverings in front of corrosion phenomenon.

The study includes theoretical concepts of the various elements and systems used for the design and construction of the camera, its operation, and the maintenance plan elaboration of the saline mist chamber.

The saline mist chamber was built based on standards ASTM B - 17, which establishes the necessary parameters that must be met as the correct selection of materials, air pressure, maximum and minimum temperature within the chamber pressure, type of water for saline solution.

Saline mist chamber was built in tempered glass, due to its properties compared to saline areas, temperature and pressure. It was used to provide heat, a heat resistance of 1500 W, a filter regulation and dispensing of compressed air, compressor, humidifier, acrylic interior tank and plastic containers that feed water and saline solution to the humidifier and the tank interior. A trial 72 hours at the end of the saline mist chamber construction was developed to monitor the evolution of corrosion in the different samples used.

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

El desarrollo de la industria exige eficiencia y eficacia en los procesos y la minimización de los recursos y costos; al tener el fenómeno de la corrosión implicaciones industriales muy importantes como la degradación de los materiales que provocan interrupciones en actividades fabriles, pérdida de productos, contaminación ambiental, mantenimientos y diseños costosos, éstas destinan anualmente miles de millones de dólares en recursos para estudiarla y prevenirla.

Uno de los recursos que nos permite el estudio de éste fenómeno y la causa principal para el desarrollo de este proyecto es la prueba de corrosión con niebla salina, la misma que reproduce los efectos de las condiciones del mundo real de forma acelerada y con variables controladas arrojando datos claros de gran ayuda al sector industrial y científico, determinando así de cierta forma el comportamiento de los metales en atmósferas corrosivas o en su ambiente de servicio, lográndose de una manera más rápida y aproximada cuantificar su resistencia a la falla frente al fenómeno de la corrosión.

Para generar la niebla se requiere una cámara sellada que contenga la mezcla atomizada de aire con solución salina, un contenedor para almacenar la solución salina, un suministro de aire comprimido húmedo, un inyector que atomizará la solución salina, apoyos para los especímenes de prueba, elementos calefactores para la cámara y medios necesarios para el control de la temperatura.

La construcción de la cámara de niebla salina se basa en las normas ASTM B-117 la cual establece los parámetros y/o condiciones que se deben cumplir, tales como presión de aire, salinidad de la solución, temperatura mínima y máxima dentro de la cámara, tiempo de exposición, proceso de limpieza de las probetas.

## **1.2 Justificación**

El propósito principal de un ensayo de corrosión en una cámara de niebla salina es acelerar en laboratorio el comportamiento frente a la corrosión en campo de un material. Esto provee a su vez a los ingenieros e investigadores la información necesaria para minimizar el impacto negativo de la corrosión, ya que se estima que los gastos atribuidos a los daños por este fenómeno representan entre el 3 y el 5 por ciento del producto interno bruto de los países industrializados, solamente hablando del acero, de cada diez toneladas fabricadas por año se pierden dos y media por corrosión. (FLORES, 2012)

Por esta razón en nuestro proyecto de grado se propone el diseño y fabricación de una cámara de niebla salina que es realizado con el ánimo de entender los fenómenos que se presentan en los ensayos acelerados de corrosión y evaluar el comportamiento de diferentes aceros, nuevos recubrimientos metálicos, nuevos recubrimientos de pinturas, y como ensayo de varios tratamientos químicos y tratamientos de pre pintado.

Este proyecto se desarrolla además ya que en el mercado el precio comercial de una cámara salina es muy elevado y hace muchas veces que pequeñas empresas se queden estancadas en el desarrollo de productos con resistencia corrosiva por lo tanto la culminación de este proyecto brindara un recurso muy importante para que la ESPOCH brinde la oportunidad a el sector estudiantil de conocer y aplicar técnicas nuevas con el fin de mitigar la corrosión.

Al final de la construcción de la cámara de niebla salina se desarrollará un ensayo, el cual permitirá establecer el proceso ideal de operación y limpieza del equipo, permitiendo a los estudiantes de Ingeniería de Mantenimiento elaborar estudios acerca de los efectos que la corrosión tiene sobre aceros de bajo contenido de carbono sometidos en un ambiente salino, y analizar si las propiedades de los materiales sufren alteraciones; además de realizar un plan de mantenimiento.

## **1.3 Objetivos**

**1.3.1** *Objetivo general.* Diseñar y construir una cámara de niebla salina para realizar

ensayos en el Laboratorio de Corrosión de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento.

**1.3.2**      *Objetivos específicos:*

Cumplir con el procedimiento detallado en la norma ASTM B117, la cual estudia y analiza el procedimiento para el ensayo en cámara salina.

Seleccionar los materiales y elementos óptimos necesarios según la norma ASTM B117, para la fabricación y construcción de la máquina.

Cumplir con las especificaciones de la norma ASTM D1193, la misma que nos indica las propiedades del agua utilizada durante la práctica.

Desarrollar un ensayo en el cual se permitirá establecer el proceso ideal de operación con la ayuda de guías de laboratorio.

Analizar y comparar resultados con la finalidad de establecer los mejores criterios para la selección de materiales.

Establecer un plan de mantenimiento, el mismo que asegure la funcionalidad y preserve la disponibilidad de la cámara.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Corrosión

En la actualidad, se libra una batalla contra la corrosión, cada día se la conoce mejor y se emplean soluciones más sencillas, pero hoy, existe en la industria el desinterés en este fenómeno, muchas veces porque pasa desapercibido o simplemente nos hemos acostumbrado a convivir con este mal y lo asumimos como propio, parecido a nuestro envejecimiento.

Es por ello que en éste capítulo se detalla los conceptos generales de la corrosión, su definición, el mecanismo bajo el cual se desarrolla, además de su clasificación y métodos utilizados para evitarla.

**2.1.1 Definición.** La corrosión se puede definir como la reacción química o electroquímica de un metal o aleación con un medio circundante, con el consiguiente deterioro de sus propiedades. También se ha definido como el deterioro de un material metálico por circunstancias destinadas a la acción mecánica. (HUERTA, 2012)

La corrosión es un fenómeno espontáneo que se presenta prácticamente en todos los materiales procesados por el hombre. Si bien existen varias definiciones, es común describir la corrosión como una oxidación acelerada y continua que desgasta, deteriora y que incluso puede afectar la integridad física de los objetos o estructuras. (LAVERDE, 2011)

El fenómeno de corrosión se extiende a todos los materiales debido a la intervención de agentes agresivos. Se llaman agentes agresivos a aquellos que producen la corrosión, estos pueden ser: la atmósfera, el agua de mar, el aire húmedo, los vapores ácidos, etc. (LAVERDE, 2011)

Aun así, la corrosión es un proceso natural, en el cual se produce una transformación del

elemento metálico a un compuesto más estable, que es un óxido.

Observamos que en la definición que hemos indicado no incluye a los materiales no metálicos. Otros materiales, como el plástico o la madera no sufren corrosión; pueden agrietarse, degradarse, romperse, pero no corroerse.

Generalmente se usa el término “oxidación” o “herrumbre” para indicar la corrosión del hierro y de aleaciones en las que éste se presenta como el metal base, que es una de las más comunes.

Figura 1: Corrosión de un vehículo



Fuente: Manual de corrosión. Félix León Higes, Diego Alcázar.

**2.1.2** *Grandes catástrofes causadas por la corrosión.* La corrosión de los metales constituye una de las pérdidas económicas más grande de la civilización moderna. A lo largo de la historia se han suscitado grandes accidentes industriales, sociales o ecológicos generados por elementos mecánicos y estructurales atacados por la corrosión entre los más destacados citamos los siguientes casos.

**2.1.2.1** *Explosión del submarino nuclear K-141 KURSK.* El peróxido de hidrógeno concentrado (HTP) que se utiliza como expulsor, se filtró a través de las grietas causadas por la herrumbre en la carcasa del torpedo. El HTP reaccionó de inmediato con el cobre y el latón en el tubo de la lanzadera desde donde se disparaba el torpedo, causando una reacción en cadena que ocasiono una explosión. Este evento ocurrió el 12 de agosto del 2000, en el submarino Nuclear K-141 Kursk, murieron 112 personas, entre marineros y oficiales.



Figura 2: Submarino nuclear K -141 Kursk



Fuente: <http://interdefensa.argentinaforo.net/t2451-asi-quedo-el-submarino-nuclear-kursk>

**2.1.2.2** *Accidente laboral en Grupo Holcim en Carboneras (Almería).* La causa del accidente laboral que costó la vida a cinco trabajadores en una cementera de Holcim en Carboneras (Almería) fue la corrosión por tensión en la soldadura que sujetaba la tolva y que produjo que esta se desplomara.

Según consta en el acta de infracción notificada a Holcim, éste fue el motivo de que se cayera la tolva que provocó la muerte de cinco trabajadores que trataban de reparar un tren de material que había quedado bloqueado.

Figura 3: Planta cementera del Grupo Holcim en Carboneras



Fuente: Catálogo Grupo Holcim Almería

**2.1.2.3** *Desprendimiento de una sección en la proa del barco M V KIRKI.* Un caso muy recordado es el del barco M V KIRKI, construido en España en 1969 con un diseño

Danés. En 1990 mientras operaba en la costa de Australia, una sección completa de la proa se desprendió de la nave. Milagrosamente ninguna vida se perdió, sin embargo pese a una ligera contaminación, la nave pudo ser rescatada. Se presentó evidencia donde la corrosión por erosión que produjo el agua de mar redujo en gran medida el espesor de los paneles y esto combinado con el pobre diseño contra la fatiga, fueron la causa primaria de la falla.

Figura 4: M V KIRKI, se aprecia la pérdida de un panel frontal de proa.



Fuente: <https://www.amsa.gov.au/index.asp>

## 2.2 Tipos de corrosión

Los procesos de corrosión pueden ser clasificados en función de diversos criterios, pero el más común es la clasificación en función del mecanismo de ataque, ya que cualquier proceso de corrosión transcurre a través de uno de estos mecanismos.

**2.2.1 Corrosión general o uniforme.** Es aquella corrosión que se produce con el igual adelgazamiento en la superficie principal del material, producto de la pérdida regular del metal superficial. Esto ocurre generalmente por la atmósfera, la misma que produce mayor cantidad de daños en el material, mismos que son atacados generalmente por el oxígeno y el agua. (HUERTA, 2012)

De igual manera el ataque galvánico detallado posteriormente puede ser uniforme o localizado en la unión entre aleaciones, dependiendo de las condiciones presentes en el ataque.

Figura 5: Corrosión uniforme en una puerta.



Fuente: Manual de corrosión. Center of Technology, Inc

La severidad de esta clase de corrosión se incrementa cuando la sal, los compuestos de sulfuro y otros contaminantes atmosféricos están presentes. Los ambientes atmosféricos son detallados a continuación.

**2.2.1.1 Ambientes atmosféricos industriales.** Son los que contienen compuestos sulfurosos, nitrosos y otros agentes ácidos que pueden promover la corrosión de los metales. En adición, los ambientes industriales contienen una gran cantidad de partículas aerotransportadas, lo que produce un aumento en la corrosión.

**2.2.1.2 Ambientes atmosféricos marinos.** Esta clase de ambientes se caracterizan por la presencia de cloruro, un ión particularmente perjudicial que favorece la corrosión de muchos sistemas metálicos.

**2.2.1.3 Ambientes atmosféricos rurales.** En estos ambientes se produce la menor clase de corrosión atmosférica, caracterizada por bajos niveles de compuestos ácidos y otras especies agresivas. (HUERTA, 2012)

**2.2.2 Corrosión galvánica o bimetálica.** La corrosión galvánica se produce cuando un líquido conductor eléctrico (electrolito) y dos materiales metálicos diferentes (ánodo y cátodo) están en contacto. El metal menos noble (ánodo) se desgasta y el más noble (cátodo) se protege. Para una mejor apreciación del concepto anterior son válidas las siguientes definiciones generales. El ánodo es el electrodo en el cual, o a través del cual, la corriente positiva pasa hacia el electrolito. El cátodo es el electrodo en el cual entra la corriente positiva proveniente del electrolito.

Figura 6: Corrosión galvánica en una chapa.



Fuente: Revista técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia

El grado de corrosión depende fundamentalmente de la diferencia de potencial eléctrico existente entre los dos metales en contacto. Cuanto más bajo (negativo) sea el potencial de un metal, más fácilmente resultará corroído, del mismo modo cuando mayor sea la diferencia de potencial entre los dos metales en contacto, tanto mayor será la corrosión galvánica producida entre ambos, siempre en perjuicio del de menor potencial.

La tabla siguiente indica el potencial eléctrico de los metales de mayor interés, que es el que presentan cuando están sumergidos en agua salada a temperatura de 25 °C.

Tabla 1: Potencial eléctrico de algunos metales en agua salada a 25 °C.

Metales	Potencial eléctrico (V)
Sodio	-2.71
Magnesio	-2.38
Aluminio	-1.67
Manganeso	-1.05
Zinc	-0.76
Cromo	-0.71
Aceros	-0.44
Cadmio	-0.40
Níquel	-0.25
Estañó	-0.14
Plomo	-0.13
Hidrógeno	0
Cobre	+0.35
Plata	+0.80
Mercurio	+0.85

Fuente: Manual de protección contra la corrosión. ZINETI S.A.

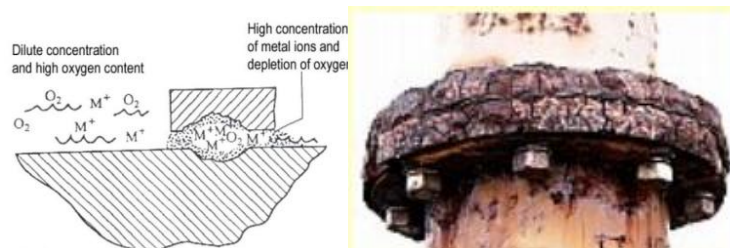
El metal que se corroe recibe el nombre de metal activo, mientras que el que no sufre

daño se le denomina metal más noble. La relación de áreas entre los dos metales es muy importante, ya que un área muy grande de metal noble comparada con el metal activo, acelerará la corrosión, y por el contrario, una mayor área del metal activo comparada con el metal noble disminuye el ataque del primero.

**2.2.3 Corrosión por grietas.** La corrosión por grietas es una forma de corrosión electroquímica localizada que puede presentarse en hendiduras y bajo superficies protegidas, donde pueden existir soluciones estancadas.

La corrosión por grietas tiene una reconocida importancia en ingeniería toda vez que su presencia es frecuente bajo juntas, remaches, pernos y tornillos, entre válvulas y sus asientos, bajo depósitos porosos y en muchos lugares similares. La corrosión por grietas se produce en muchos sistemas de aleaciones como el acero inoxidable y aleaciones de titanio, aluminio y cobre.

Figura 7: Corrosión en grietas



Fuente: <http://www.utp.edu.co/~dhmesa/pdfs/tiposdecorrosion.pdf>

Para que ocurra este tipo de corrosión, la grieta ha de ser lo suficientemente ancha para permitir que se introduzca líquido, pero a la vez lo bastante estrecha para mantener estancado el líquido. Por consiguiente, este tipo de corrosión se producirá más frecuentemente en aberturas de unos pocos micrómetros o menos de anchura. Las juntas fibrosas, que pueden actuar como mechas para absorber una solución electrolítica y a la vez mantenerla en contacto con la superficie metálica, son localizaciones ideales para la corrosión por grieta. (VALENCIA, 2010)

**2.2.4 Corrosión por picaduras o PITTING.** La corrosión por picadura es un fenómeno localizado que se manifiesta por anomalías (agentes químicos) que crecen rápidamente hacia el interior del material y que pueden generar daños catastróficos. Es

una forma extremadamente localizada de ataque que resulta en huecos en el metal. “El ataque se centra en una área muy reducida respecto a la superficie total expuesta, de manera que la zona afectada no suele constituir más allá del 1% de esa superficie” (HUERTA, 2012)

Figura 8: Corrosión por picadura externa e interna en una cañería de agua.

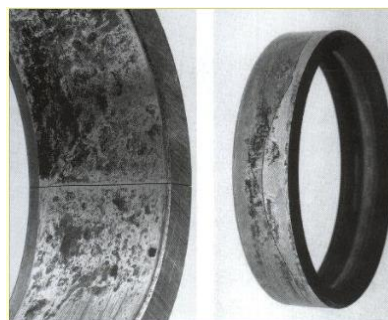


Fuente: Texto de ingeniería metalúrgica y de materiales, Universidad Nacional del Perú.

Estos huecos suelen ser de tamaño pequeño y aparecen pegados unos con otros dando la impresión de poros. Esto origina que equipos fallen pues con poca pérdida de material producen perforaciones. Las cavidades que se forman pueden variar en cantidad, tamaño y forma. Las picaduras pueden contribuir de manera importante a una falla general, en componentes sujetos a esfuerzos muy altos, dando como consecuencia la falla por corrosión bajo tensión. El picado se puede presentar en varios metales y aleaciones, pero los aceros inoxidable y las aleaciones de aluminio son susceptibles en especial a este tipo de degradación. (HUERTA, 2012)

**2.2.5 Corrosión por fricción o FRETTING.** Es la que se produce por el movimiento relativamente pequeño (como una vibración) de 2 sustancias en contacto, de las que una o ambas son metales.

Figura 9: Corrosión por fricción en un buje.



Fuente: Manual de corrosión, Center of Technology Inc.

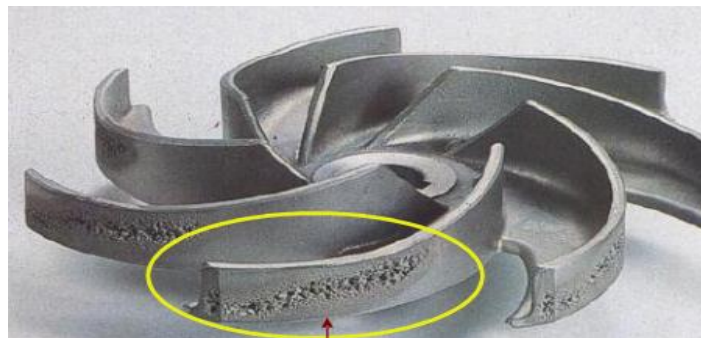
Este movimiento genera una serie de picaduras en la superficie del metal, las que son ocultadas por los productos de la corrosión y solo son visibles cuando ésta es removida.

**2.2.6** *Corrosión por cavitación.* La cavitación se produce por la formación y violenta implosión de burbujas de vapor en la superficie del material, capaces de arrancar partículas de su superficie, formando agujeros y picaduras.

La cavitación se produce en las superficies donde la velocidad del fluido, junto con los niveles bajos de presión, hace aparecer importantes disminuciones locales de presión, que son las responsables de la vaporización del fluido. Tal situación se puede presentar en impulsores de bombas y en hélices o propulsores sumergidos.

Cuando suceden numerosas implosiones puede hacerse un daño considerable a la superficie del metal. Separando las películas superficiales y arrancando partículas de metal de la superficie, la cavitación puede incrementar la velocidad de corrosión y originar desgastes superficiales. (MARULANDA, 2005)

Figura 10: Corrosión por cavitación en una turbina.

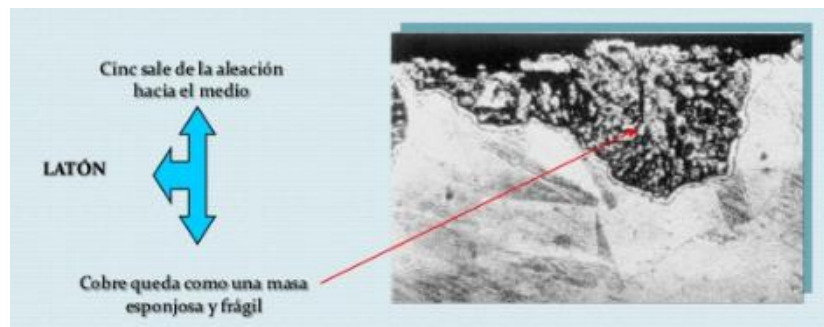


Fuente: <http://www.jadominguez.com/2012/03/cavitacion-al-comunicar>

**2.2.7** *Corrosión selectiva.* Es semejante a la llamada corrosión por deshincado, en donde piezas de cinc se corroen y dejan una capa similar a la aleación primitiva. En este caso, es selectiva porque actúa sólo sobre metales nobles como el Plata-Cobre o Cobre-Oro. Quizá la parte más nociva de esta clase de ataques está en que la corrosión del metal involucrado genera una capa que recubre las picaduras y hace parecer al metal corroído como si no lo estuviera, por lo que es muy fácil que se produzcan daños en el metal al someterlo a una fuerza mecánica. (CUESTA, 2009)



Figura 11: Corrosión selectiva.



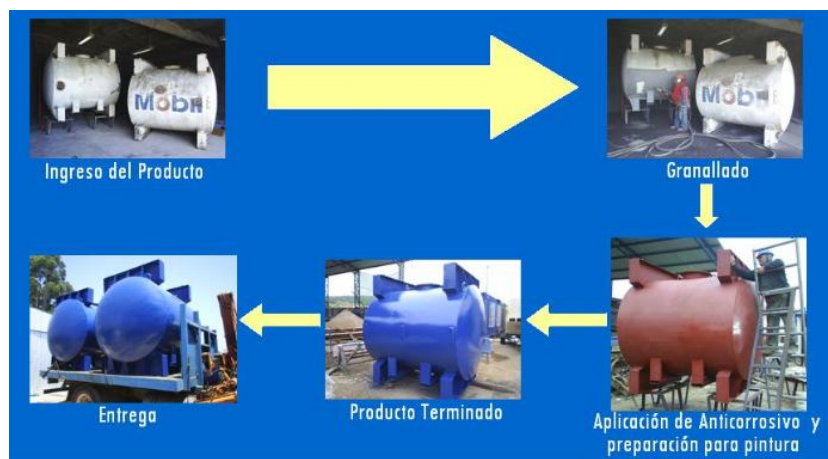
Fuente: [http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12\\_4\\_10.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_4_10.html)

### 2.3 Protección contra la corrosión

La corrosión es un proceso que efectivamente puede comprometer la integridad de muchos tipos de metales como acero, hierro y cobre. Luego de haber analizado la corrosión y sus formas, es momento de ver que conocimientos se tienen hoy en día para mitigar y prevenir este fenómeno.

**2.3.1 Granallado (SHOT PEENING).** El Shot Peening, es un tratamiento orientado a mejorar la resistencia a la fatiga de componentes mecánicos metálicos. No debe ser confundido con el granallado convencional, que no es otra cosa que un tratamiento de limpieza de materiales.

Figura 12: Esquema del proceso de granallado



Fuente: <http://www.alcainoltda.cl/Granallado.html>

En términos generales, podemos definir el proceso de granallado como un tratamiento



superficial mecánico realizado en frío, que se basa en el bombardeo de partículas abrasivas a alta velocidad (40 - 100 m/s) que al impactar con la pieza tratada produce la remoción de los contaminantes de la superficie (pintura, óxido, calaminas, residuos de fundición y arena, rebabas de material de fundición, estampación, inyección, etc.). El impacto de la granalla con la superficie a tratar, provoca un deslizamiento plástico de las fibras superficiales. Generalmente este efecto, afecta a algunas décimas de milímetro. El material que queda más abajo, no se ve afectado por la deformación plástica. (MARTINEZ, 2009)

El fenómeno de corrosión bajo tensión se disminuye por la acción de los esfuerzos residuales de compresión como consecuencia de la disminución de los esfuerzos máximos de tracción. Pues los esfuerzos de tracción tienen mayor influencia para potenciar los procesos de corrosión.

**2.3.2 Recubrimientos metálicos por inmersión en caliente.** El fin más frecuente e importante de los recubrimientos metálicos es el de proteger a otros metales de la corrosión. La mayoría de los metales, expuestos a la acción del ambiente, sufren transformaciones fisicoquímicas que los degradan, reducen su utilidad y llegan a destruirlos. Los fenómenos que originan estos cambios se agrupan en el concepto de corrosión o con mayor amplitud en el de deterioro de materiales.

Se sumerge el metal a proteger en un baño de otro metal fundido. Al sacarlo del baño, el metal se solidifica formando una fina película protectora. Los metales más comúnmente empleados en estos procedimientos son:

- Estaño (estañado), se utiliza mucho en las latas de conserva (la hojalata).
- Cinc (galvanizado), es el más empleado para proteger vigas, vallas, tornillos y otros objetos de acero.
- Aluminio (aluminización), es muy económico y de gran calidad.
- Plomo (plomado), para recubrir cables y tuberías.
- Cuando el riesgo de corrosión es muy elevado se recomienda hacer un recubrimiento con Alclad. El Alclad es un producto forjado, formado por un núcleo de una aleación de aluminio y que tiene un recubrimiento de aluminio o aleación de

aluminio que es anódico al núcleo y por lo tanto protege electroquímicamente al núcleo contra la corrosión.(MARTINEZ, 2009)

Figura 13:Galvanizado de piezas de acero



Fuente: Revista Mediateca. Creative Commons.

**2.3.3 Recubrimientos por electrodeposición.** Este método consiste en hacer pasar corriente eléctrica entre dos metales diferentes que están inmersos en un líquido conductor que actúa de electrolito. Uno de los metales será aquel que queremos proteger de la oxidación y hará de cátodo. El otro metal hará de ánodo. Al pasar corriente eléctrica, sobre el metal catódico se crea una película protectora. Con este método se produce el cromado o niquelado de diversos metales.

Figura 14: Cromado de pieza metálica



Fuente: Revista Mediateca. Creative Commons

La electrodeposición se utiliza principalmente para conferir una capa con una propiedad deseada (por ejemplo, resistencia a la abrasión y al desgaste, protección frente a la corrosión, la necesidad de lubricación, cualidades estéticas, etc.) a una superficie que de otro modo carece de esa propiedad. Otra aplicación de la electroposición es recrecer el espesor de las piezas desgastadas. (D U F O U R , 2006)

**2.3.4 Anodizado.** El anodizado es un proceso electroquímico industrial aplicado al aluminio para aumentar el espesor creando una densa capa de óxido de aluminio, la cual proporciona al metal una mayor resistencia a la abrasión y a los agentes químicos y atmosféricos. Ésta capa de óxido aumentada artificialmente, al formar parte del material, es de difícil remoción.

El nombre del proceso deriva del hecho que la pieza a tratar con este material hace de ánodo en el circuito eléctrico de este proceso electrolítico.

Figura 15: Anodizado.



Fuente: Revista Mediateca. Creative Commons.

La anodización es usada frecuentemente para proteger el aluminio y el titanio de la abrasión y la corrosión, y permite su tinte en una amplia variedad de colores tales como: Plateado - Dorado - Negro - Verde - Azul - Rojo; y sus terminaciones en tonos mate o brillante.

Hay distintos métodos de coloración de las capas de óxido formadas: coloración por sales y coloración por tintes, siendo la primera opción la más habitual y la que más calidad en acabado y durabilidad garantiza. (PENNISI, 2001)

**2.3.5 Termorociados.** Los recubrimientos termorociados consisten en depositar metal previamente fundido antes de la proyección sobre alguna superficie. El metal usado y los sistemas de aplicación usados varían, pero lo importante consiste en la protección que producen contra la corrosión o las propiedades de resistencia a la abrasión.

Los recubrimientos termorociados han existido por muchos años y pruebas de exposición a la corrosión han probado ser superiores al pintado convencional con zinc. (BARRUETO, 2003)

Figura 16: Termorociado de un eje.



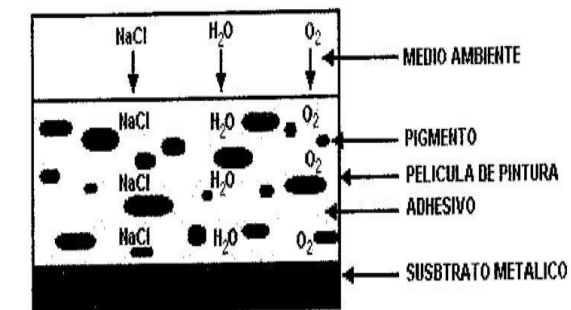
Fuente: <http://www.metalsprayperu.com/galeria/index.php?album=industria-general&image=index-6.JPG>

**2.3.6 Recubrimientos con pinturas.** Los recubrimientos con pinturas, por varias razones de índole técnica y económica, constituyen el método más utilizado en la protección contra la corrosión de materiales. La vida útil de un recubrimiento con pintura y su efectividad como método de prevención de la corrosión dependerán, en gran medida, de una adecuada selección y/o diseño del sistema de protección, de la apropiada preparación de su superficie y aplicación del recubrimiento, de la supervisión e inspección a pie de obra y del control de calidad de las pinturas y de los sistemas protegidos.

El principio está basado en crear una barrera de protección que impida el contacto directo del metal con el electrolito. Para ello se requiere la aplicación de capas de imprimación, con la misión de procurar una adherencia óptima con la superficie del

metal, y sucesivas capas de pinturas compatibles que eviten la posibilidad de acceso del electrolito a la superficie metálica.

Figura 17: Pintura resistente a la corrosión



Protección por recubrimiento orgánico (Pinturas).



Fuente: Manual industrias Sylpyl, S.A.

## 2.4 Ensayos de corrosión

Se define como ensayo de corrosión a la realización de experimentos; tales que permitan simular ambientes corrosivos extremos, con el fin de establecer estimaciones que permitan determinar la resistencia de los materiales bajo dichas condiciones.

Las formas de corrosión se pueden dividir, de forma general, en dos grandes grupos. El primero corresponde a las pruebas o ensayos naturales en donde las pruebas se efectúan en ambientes reales exponiendo los metales o aleaciones a las condiciones presentes en los procesos por ejemplo condiciones en la atmósfera, el mar, etc. En el segundo se encuentran las pruebas de laboratorio en las que las muestras son expuestas a líquidos de plantas reales o ambientes de éstas simulados.

**2.4.1 Ensayos naturales.** Son los que permiten el estudio más exacto de un material o del efecto protector de una medida determinada. Es la base de todos los ensayos de protección contra la corrosión. En los ensayos naturales solo se obtendrán resultados claros después de largos periodos de tiempo, es decir se haya desarrollado el proceso de corrosión, los ensayos más importantes tenemos:

Figura 18: Ensayo natural de corrosión de una barra de acero



Fuente: <http://www.construsur.com.ar/Article32.html>

**2.4.1.1 Ensayos en el agua o en el mar.** Los factores modificativos son menos. En estas condiciones puede tener mucha importancia la disposición de las probetas, debido a que muchas veces hay que tomar en consideración las corrientes intensas de agua que pueden arrastrarlas o perderlas. En la exposición al agua de mar un factor importante es el secado y humedecimiento alternativo de las probetas por el flujo y reflujo de la marea.

Figura 19: Ensayo en arandelas de diferente material a temperatura ambiente.



Fuente: <http://www.arandelas-belleville.com/vda.php>

**2.4.1.2 Ensayos en la atmósfera.** Para el conocimiento fundamental de la atmósfera es necesario apreciar los siguientes agentes modificativos: irradiación solar, radiación del suelo, temperatura del aire, humedad, precipitaciones, vientos. Además que varía de acuerdo a la estación del año y las situaciones del lugar del ensayo. Para ellos tenemos

que elegir el sitio de tal forma que en todos los puntos sean de igual condiciones atmosféricas y que no haya perturbaciones como: humo, gases residuales entre otras. Es muy importante la forma de colocación de las probetas, las cuales deben de estar en contacto con clavos y otras piezas metálicas; lo conveniente es fijar las probetas por un solo punto y dejarlas colgando libremente. Para poder comparar los resultados de los ensayos también es necesario realizar de otra manera tales como: humedad relativa, temperatura entre otras.

**2.4.1.3 Ensayos en el suelo.** Solo se puede formar un juicio decisivo sobre la corrosión de los materiales metálicos enterrados cuando los ensayos se ejecutan bajo las mismas circunstancias de la práctica, es decir, ajustando la calidad de los materiales y el medio agresivo a las condiciones de servicio. Para evitar dispersiones es necesario no realizar ensayos ni en tubos, ni cables, de menos de 1 m de longitud. Los cuerpos huecos deben taponarse por ambos extremos. Para poder tener en cuenta el curso temporal de ataque es necesario emplear un gran número de probetas análogas, las cuales se van enterrando con el transcurso del tiempo y por los menos dos cada vez. Con ello se provoca una alteración la cual se debe mantenerse lo más pequeñas posibles. Es de gran importancia el contacto del agua con la probeta, por lo que es conveniente que una serie de probetas se encuentre sobre el suelo y otra segunda sumergida completamente en el mismo.

**2.4.2 Ensayos en el laboratorio.** Las pruebas de corrosión de laboratorio son métodos importantes para entender el comportamiento de los metales y aleaciones en diferentes ambientes corrosivos. Muchas de las teorías de corrosión que existen en la actualidad se han desarrollado a partir de este tipo de pruebas.

Uno de los fines más importantes de los ensayos de corrosión en el laboratorio es la limitación de las acciones atmosféricas, puesto que son los que afectan con máxima frecuencia en el tiempo de vida de los materiales. En el laboratorio no es posible tener en cuenta todas las variaciones, pues ello exigirá un número enorme de ensayos.

**2.4.2.1 Ensayos de niebla.** Para reproducir en el laboratorio la humectación de los objetos por la niebla, se emplean los dispositivos de pulverización con aire a presión para pulverizar la solución agresiva, de forma que actúe sobre las probetas en forma de finísimas gotas.



Figura 20: Ensayo en cámara de niebla salina



Fuente: <http://www.4.inti.gov.ar/GD/jornadas2000/cieps-152.htm>

**2.4.2.2 Ensayos de inmersión alterna.** Los efectos de humedecimiento y secado, que en la atmósfera pueden darse por ejemplo a causa de la lluvia, se producen en el laboratorio mediante ensayos de inmersión alterna, las probetas se someten en ellos durante un cierto tiempo en el efecto de la inmersión de agua o en alguna solución acuosa y luego a una extracción lenta para que puedan secarse en el aire. Según que se desea imitar se emplean como medios agresivos el agua destilada, agua común o soluciones al 3% de NaCl las pérdidas por evaporación se compensan con la adición de agua destilada.

**2.4.2.3 Ensayos de inmersión continua.** Nos ayuda para establecer el comportamiento de los materiales frente a las soluciones acuosas. Las soluciones agresivas suelen estar contenidas en vasijas de vidrio y las probetas se mantienen suspendidas dentro de dichas vasijas de vidrio. Solo cuando es necesario evitar el efecto del oxígeno contenido en el aire se ensayan con vasijas cerradas. En los ensayos normales las probetas están totalmente sumergidas de tal forma que el nivel del líquido esté aproximadamente 30 mm por encima del borde superior de la probeta para ello es necesario garantizar en un líquido en reposo con una distribución homogénea.

**2.4.2.4 Métodos electroquímicos.** La corrosión en soluciones acuosas es un proceso electroquímico. Como consecuencia de esto se nota la importancia de la electroquímica en los procesos de corrosión. Es lógico que por ello se empleen con frecuencia estos diseños, además tiene la ventaja de permitir obtener resultados en el laboratorio en periodos de tiempo corto y que afinando los métodos a medida, se pueden simular,



explicar y comprobar muchas veces los procesos de corrosión.

De los resultados de tales ensayos han resultado muchas veces procedimientos de protección eficaces. Hay que tener en cuenta que estos ensayos exigen una aplicación muy correcta y una ejecución especializada.

**2.4.3** *Obtención de los resultados en ensayos de corrosión.* Los resultados de los ensayos de corrosión se los pueden evidenciar a partir de las variaciones en la superficie del material y en el agente corrosivo.

**2.4.3.1** *La superficie del metal.* La observación a simple vista de la superficie del metal que se corroe es el método más racional y sencillo, por lo tanto el más frecuente empleado para juzgar sobre la corrosión. Con tal observación se presta atención, a la forma y la cantidad en que los productos de la corrosión se han depositado sobre las superficies, si la corrosión transcurre sin formación de productos sólidos o si los daños producidos sobre la superficie son grietas, fisuras. Como es natural se tiene que fijar si el ataque es uniforme o localizado con picaduras. Cuando la corrosión es localizada podemos estimar el grado de corrosión por la magnitud y la distribución de los lugares corroídos.

**2.4.3.2** *Investigaciones microscópicas de la superficie.* En las investigaciones modernas se han empleado las observaciones en campo claro y en campo oscuro, la iluminación oblicua y el contraste de fase puede ser de mucha utilidad el empleo de luz polarizada o ultravioleta.

**2.4.3.3** *Investigaciones de las superficies con microscopio electrónico.* El microscopio electrónico se ha empleado con éxito para el estudio de los procesos de oxidación y es de gran utilidad para casos de exigencias grandes y para reconocer las más pequeñas diferencias locales de la calidad superficial.

**2.4.3.4** *Reconocimiento de defectos superficiales (grietas).* En la corrosión se producen con frecuencia defectos superficiales cuyo reconocimiento es importante para juzgar el proceso de ataque. Los defectos resultan más perjudiciales en el uso, por lo que respecta a las sollicitaciones mecánicas, las grietas que muchas veces no se descubren a simple

vista. Para comprobar su existencia se han desarrollado una serie de ensayos no destructivos. Como los más conocidos se pueden citar:

- Humectación con líquidos volátiles
- El empleo de materiales fluorescentes
- El empleo de polvos magnéticos
- Indicadores radioactivos y los ultrasonidos.

**2.4.3.5 Determinación de las variaciones de peso.** En la mayoría de los ensayos de corrosión se mide la magnitud por las variaciones de peso en las probetas. Para ello es necesario conocer el peso y las dimensiones de las probetas cubiertas por los productos de corrosión. Para encontrarlo se secan las probetas a 150 °C y se enfrían, después se pesan. Solo una vez hecho esto se elimina la capa de los productos de corrosión procurando que no se ataque el metal y como control se someten al mismo tratamiento las probetas con y sin ensayo de corrosión. Para eliminar la capa de productos de corrosión se pueden emplear varios métodos.

- Limpieza manual mecánica: la remoción se hace con la simple aplicación de un paño remojado en agua solvente, más la utilización de algún instrumento abrasivo como una escobilla de acero o papel de lija.
- Decapado mecánico: se realiza mediante chorro de arena de cuarzo, mediante granalla u otros similares
- Decapado químico: consiste en remover mediante la utilización de sustancias químicas, normalmente ácido clorhídrico, el óxido y otras impurezas.

**2.4.3.6 Determinación de la disminución de espesor.** La característica más sencilla de determinar es la disminución del espesor. En el caso de ataque uniforme la disminución del espesor se puede calcular a partir de la pérdida de peso. Se construye una tabla con las relaciones entre la pérdida de peso en [g/m<sup>2</sup>] por día y disminución de espesor en [mm/año]

**2.4.3.7 Determinación de la naturaleza, profundidad del ataque y de las variaciones de estructura.** El examen metalográfico de la probetas pulidas, cortadas normalmente a

la superficie corroída de la pieza, permiten una observación muy buena del proceso de corrosión. Para evitar que en la preparación se altere el bordo correspondiente a la superficie, suele ser necesario el montaje de la probeta, en resinas artificiales. Actualmente se ha permitido el empleo de polvo de diamante para pulir muestras de aleaciones corroídas o con cascarilla.

## **2.5 Cámara de niebla salina.**

A los materiales se les realiza diferentes estudios y análisis para determinar sus características y propiedades y así establecer si son apropiados o no para una aplicación específica. Entre ellos, la resistencia a la corrosión es una propiedad de mucha importancia que se debe tener en cuenta, ya que debido a ella se presentan muchas fallas, como inicios de fracturas, fugas en tanques o conducciones, disminución de resistencia mecánica en estructuras o en partes de máquinas, desviaciones del funcionamiento normal de equipos, contaminación debida a los productos derivados de la corrosión, entre otras.

Figura 21: Cámara de niebla salina comercial.



Fuente: Catálogo de ventas Instrumatic S. A .

Es aquí donde se hace necesario un estudio sobre este fenómeno para determinar cuál material cumple con las exigencias de diseño y resistencia a la atmósfera o medio ambiente de trabajo que producen y aceleran su degradación, desgaste, cambios en su estructura y propiedades mecánicas afectando su calidad y desempeño. Para lograrlo se han desarrollado durante muchos años gran variedad de procedimientos para estudiar el

comportamiento de los materiales frente a la corrosión, siendo uno de los más difundidos el ensayo denominado “Salt Spray (Fog) Test” o prueba del spray de sal.

**2.5.1 Definición.** La cámara de niebla salina es un equipo de laboratorio planteado para realizar ensayos de corrosión de forma acelerada, el cual proporciona una atmósfera corrosiva formada por una niebla salina, controlando las variables que intervienen en este proceso. (DE SOUZA, 2004)

**2.5.2 Descripción del ensayo en cámara salina.** El ensayo de niebla salina consiste en exponer la pieza objeto del ensayo a una niebla salina durante un cierto período de tiempo en el interior de la cámara, bajo condiciones controladas. El tiempo transcurrido desde que se introdujo la pieza o artículo hasta que comienza el ataque de la corrosión, proporciona una medida de la capacidad de resistencia del metal constituyente o del recubrimiento a dicho ataque. Los ensayos de niebla salina han sido y son muy utilizados para el desarrollo de recubrimientos metálicos, pinturas o tratamientos y pretratamientos aplicados a metales recubiertos.

Básicamente, el procedimiento involucra el pulverizado de una solución salina sobre las muestras a ensayar. Esto se hace en una cámara con temperatura controlada. El medio es una solución salina al 5 % (cloruro de sodio – NaCl). Las muestras a ensayar son introducidas a la cámara, luego la solución salina es pulverizada como una niebla muy delgada sobre las muestras. La temperatura en la cámara se mantiene en un nivel constante. Como el pulverizado es continuo, las muestras están húmedas constantemente, y por eso están sujetas a la corrosión constantemente. A través de los años, se han agregados nuevos cambios para estimular mejor las condiciones ambientales especiales, pero el proceso más común en Norte América es el ensayo descrito en la norma ASTM B 117, Normas Prácticas para la Operación de Aparatos de Niebla Salina.

## **2.6 Resumen de la norma ASTM B 117 “Salt spray test”**

La American Society for Testing and Materials (ASTM), se ha encargado de definir las partes, procedimientos y condiciones requeridos para crear y mantener un ambiente de niebla salina adecuado durante la realización del ensayo; sin embargo no prescribe el

tipo de espécimen de prueba o periodos de exposición a ser usados para un producto específico, ni la interpretación que se le daría a los resultados.

A continuación se presentan los parámetros principales que exige la norma para la construcción del equipo:

- El aparato requerido para la exposición de la niebla salina consistirá en una cámara sellada que contenga la niebla, un contenedor para almacenar la solución salina, un suministro de aire comprimido apropiadamente acondicionado, uno o varios inyectores que atomizan la solución salina, apoyos para los especímenes de pruebas, elementos calefactores para la cámara y medios necesarios para el control de la temperatura.
- No se permitirá que el condensado formado en la superficie de la tapa de la cámara caiga sobre los especímenes de prueba.
- El agua usada en la práctica (tipo IV) deberá cumplir con las especificaciones de la norma ASTM D1193.
- Las probetas deberán ser apoyadas o suspendidas entre 15° y 30° de la vertical y preferentemente paralela a la dirección principal del flujo de la niebla en la cámara.
- Las probetas no se pondrán en contacto la una con la otra; ni con otro material metálico capaz de actuar como filtro.
- Las probetas deberán ser colocadas de tal manera que permitan la circulación libre de la niebla sobre todas ellas.
- El abastecimiento de aire comprimido hacia los inyectores para atomizar la solución salina deberá estar libre de aceite y suciedad y deberá ser mantenida entre 10 y 25 psi.
- La temperatura dentro de la cámara deberá ser mantenida en 35 °C con una tolerancia de +1.1 °C o -1.7 °C.
- El inyector o los inyectores deberán ser dirigidos de tal manera que la niebla sea dispersada de forma que ninguna partícula pulverizada impregne directamente a las probetas.
- Se deberá ubicar filtros adecuados en la línea de solución que alimenta a las boquillas para evitar obstrucciones.
- La cámara deberá ser construida de forma que durante las pruebas permanezca

sellada, para no afectar otros equipos aledaños.

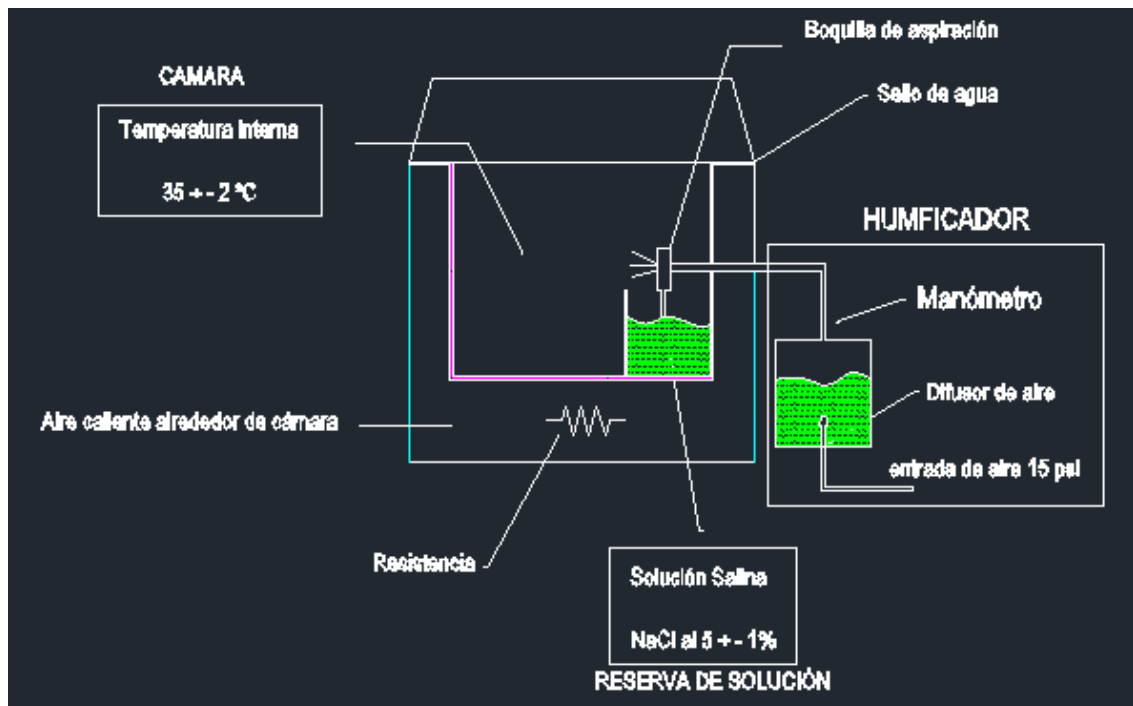
- El flujo de aire hacia las boquillas deberá permanecer constante, a excepción de interrupciones esporádicas (inspecciones, ajustar o sacar probetas, etc).

### CAPÍTULO III

#### 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA

En este capítulo se desarrolló el proceso de selección y recopilación de elementos, accesorios y materiales para el diseño y construcción de la cámara de niebla salina, además detallamos especificaciones y características, a través de esquema ilustrativos con sus respectivas dimensiones y una breve explicación del funcionamiento de los elementos utilizados dentro del conjunto que componen la cámara de nebulización, basados en las normas ASTM B-117.

Figura 22: Esquema general simplificado de la cámara.



Fuente: Autores

##### 3.1 Consideraciones de diseño

Las consideraciones que se tomó en cuenta para el diseño y construcción de la cámara de niebla salina están respaldadas por la norma ASTM B - 117 (Standard Practice for Operating Salt Spray) descritas a continuación:

- El diseño y construcción de la cámara debe respetar las consideraciones y restricciones que están estipuladas por la norma ASTM B-117 (Salt spray fog test de la ASTM).
- La duración máxima para realizar los ensayos de corrosión serán de tres días, parámetros que están determinados por las normas de nebulización (Salt spray fog test de la ASTM).
- La disponibilidad de energía eléctrica, suministro de aire y drenaje durante el ensayo de niebla salina.
- El equipo debe ser capaz de operar con la mínima asistencia humana durante el tiempo que dure el ensayo.
- Debe ser práctico en su uso.
- El equipo debe presentar facilidades para su limpieza después de su utilización.
- Los materiales utilizados para la construcción de la cámara deben poseer una gran resistencia a la corrosión.
- Los elementos, materiales y accesorios empleados deben ser de fácil adquisición en el mercado local.
- El diseño de la máquina debe asegurar un fácil mantenimiento por parte del usuario.

La cámara de niebla está constituida por:

- Zona de exposición de la cámara.
- Estructura interna y externa que está compuesta de vidrio y láminas de tol respectivamente.
- Parte superior de la cámara (cubierta).
- Reserva de la solución salina.
- Tanque humidificador.
- Torre de nebulización.
- Porta probetas.
- Reserva para el tanque humidificador.
- Resistencia eléctrica quien suministrara el calor.
- Acoples, uniones, mangueras y ajustes necesarios.
- Accesorios para controlar la temperatura y presión en el equipo.



**3.1.1**     *Sistema de oxidación de la cámara de niebla salina.* Es la parte de la máquina más importante pues es en donde se realiza la corrosión de las probetas y está sometida a un ambiente de nebulización corrosivo, alta humedad y a constantes cambios de temperatura. Para su diseño y su apropiada selección de materiales utilizados en la construcción de la cámara, nos basamos en la norma ASTM B-117, los aspectos que se tomó en cuenta para su diseño es:

- Resistencia a la corrosión.
- Impermeabilidad.
- Bajo índice de absorción de agua.
- Acabado superficial liso.
- Resistente a cambios térmicos.
- Fácil de visibilidad.
- Una operatividad a la temperatura de trabajo ( $35^{\circ}\text{C} + 1.1 - 1.7^{\circ}\text{C}$ ).

Además de las normas ASTM B – 117, es necesario tener en cuenta las especificaciones de dimensiones de cámaras que ya existan en el mercado ya que facilitará encontrar accesorios adecuados para la construcción.

- Tamaño de las probetas que usamos dentro de la cámara para el ensayo.
- Tipo de sellos seleccionados para proteger a otros accesorios de la nebulización.
- El porta probetas utilizado es de acrílico de 4mm de espesor donde se colocan las probetas equidistantes entre sí.
- Para la evacuación de la solución salina utilizada en el proceso de la nebulización optamos por hacer un agujero de  $\frac{1}{2}$  pulgada en la esquina inferior izquierda de la cámara que nos servirá de purga.
- La cubierta que vamos a utilizar es de vidrio templado en forma de “V” invertida, con una abertura de  $125^{\circ}$  lo que permitirá que el condensado se deslice a través de las paredes hacia el piso.
- En el interior de la cámara se ubicará un tanque de acrílico donde se depositará una solución salina. Su capacidad es de 1,5 litros, el depósito utilizado está constituido de acrílico debido que presenta propiedades acordes para las prácticas.
- Su estructura interna está construido de vidrio templado de 6 mm de espesor según

rigen las normas ASTM B -117, por sus características descritas en lo posterior.

Las características del vidrio templado son:

Tabla 2: Ventajas y desventajas del vidrio templado

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Resiste al ataque de la mayoría de los agentes químicos.</li><li>• Físicamente resistente</li><li>• Buena conductividad térmica</li><li>• Bajo costo</li><li>• Soporta grandes temperaturas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fragilidad</li><li>• No puede ser re trabajado luego de ser templado</li></ul>

Fuente: <http://www.solucionesvidal.com/16.html>

Una vez seleccionado el material adecuado para la construcción de la cámara, a continuación procedemos a dimensionar la misma tomando en cuenta los siguientes factores:

- Especificaciones de dimensiones de cámaras existentes
- Tamaño y tipo de probetas
- Ubicación y tamaño del tanque de solución salina
- Ubicación y tamaño del atomizador
- Ubicación y tamaño del elemento calefactor
- Hermeticidad de la cámara

La cámara está constituida por una caja de vidrio templado de 6 mm de espesor, cuyas dimensiones son, 60 x 45 x 50 cm (largo x ancho x alto), estos vidrios forman las paredes y el piso; para la cubierta construimos un techo en forma de V invertida con una abertura de 125° en el cual existe una ventana totalmente hermética; la cubierta en V invertida tiene la finalidad de que el condensado que se forme dentro de la cámara fluya a través de las paredes hacia el piso

Tabla 3: Propiedades de los vidrios templados

<b>Densidad</b>	2500 kg/m <sup>3</sup> es la densidad del vidrio.
<b>Peso</b>	2,5kg/m <sup>3</sup> por cada milímetro de espesor
<b>Punto de ablandamiento</b>	730°C, aproximadamente
<b>Conductividad térmica</b>	1.05 W /M k
<b>Coefficiente de dilatación</b>	9 x 10-6 °C, para vidrio entre 20°C y 220°C.
<b>Dureza</b>	6 a 7 en la escala de Mohs.
<b>Módulo de Young</b>	720.000 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de Poisson</b>	Varía entre 0.22 y 0.23
<b>Resistencia química</b>	Resiste al ataque de la mayoría de los agentes químicos, excepto el ácido hidrofúorídrico y, a alta temperatura de ácido fosfórico. Los álcalis atacan la superficie del vidrio
<b>Resistencia mecánica</b>	Esfuerzos de tracción: 300 a 700 kg/ cm <sup>2</sup> Esfuerzos de compresión: 10 000 kg/ cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de rotura</b>	Vidrios recocidos 350 a 550 kg/ cm <sup>2</sup> Vidrios templados 1850 a 2100 kg/ cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de trabajo</b>	Vidrio recocido carga momentánea 170 kg/ cm <sup>2</sup> Vidrio recocido carga permanente 60 kg/ cm <sup>2</sup> Vidrio templado 500 kg /cm <sup>2</sup>

Fuente: Manual de productos Centrocrystal

El vidrio templado es de color negro que presenta características ideales, para mantener el calor interno por un lapso mayor de tiempo de los vidrios comunes, para que el proceso de corrosión de los aceros sea más rápido.

Figura 23: Zona de exposición de la cámara.



Fuente: Autores

La cámara de oxidación posee un controlador de temperatura, que nos permite mantener

el calor adecuado para la nebulización y la oxidación de los aceros expuestos en el hogar de la cámara, la temperatura de trabajo debe oscilar entre 35°C con una tolerancia de + 1.1 y -1.7°C, contralado por una termocupla que sensa el ambiente ideal de oxidación dentro de la cámara.

El sistema de alimentación de solución salina, se realizó a través de un tanque auxiliar de plástico y un tanque interior que se encuentra en el hogar de la cámara, en donde se instaló racores rectos que conectan a las mangueras neumáticas de 6 mm de diámetro, quien transporta la solución salina al atomizador.

**3.1.2**     *Sistema de generación de niebla salina.* Este sistema es el encargado de generar la niebla salina al interior de la cámara, según las especificaciones de la norma ASTM B-117, la misma que será dispersada por el atomizador creando una nebulización en el interior de la cámara quien oxidará a las probetas.

Este sistema está constituido por los siguientes elementos: un tanque auxiliar de solución salina, un atomizador, línea de suministro de aire húmedo, línea de suministro de agua salina y un tanque interior.

El tanque reservorio auxiliar suministra la solución salina al tanque interior mediante una manguera de 6 mm flexible, cuando éste se encuentra con una capacidad menor a la de 1 litro, abrimos la llave de paso para introducir la solución salina al tanque interior, desde allí sale la solución salina hacia el atomizador.

Por otra parte, se inyecta el aire mediante un compresor por medio de una manguera flexible de 6 mm, regulamos la presión de aire con la unidad de mantenimiento a 25 psi; esta presión ingresa por medio de una válvula check hacia el tanque humidificador. Donde se realizó un sistema de turbulencia de aire, con la ayuda de un difusor. Por otro lado, suministramos agua al tanque humidificador, desde el tanque de reserva auxiliar, que se encuentra en la parte superior de la cámara de niebla salina, mediante un sistema de tubos conductores donde el agua baja desde un punto de mayor altitud hacia uno de menor altura, por intermedio de mangueras de conducción.

El agua se calienta, en el interior del tanque, con un serpentín a una temperatura

promedio de 40° C, controlado por un termostato quien sensa la temperatura del agua en el interior del tanque humidificador. De la mezcla de aire con agua caliente se genera un vapor húmedo, el mismo que será transportado por medio de mangueras a la pistola de atomización.

Cuando se inyecta aire a presión a través de un tubo que disminuye de sección, sufre una aceleración, lo que reduce la presión en el punto más estrecho debido al principio de Bernoulli.

La presión reducida absorbe, a través de un tubo estrecho, el líquido del recipiente inferior (de hecho puede estar en cualquier posición mientras llegue el líquido al orificio), debido a la diferencia de presión existente entre los dos puntos, y lo proyecta hacia delante en forma de una fina lluvia de pequeñas gotas (no de átomos a pesar del nombre). (FINN, 1995)

Partes del sistema de generación de niebla salina:

- Reserva interna de agua salina.
- Atomizador.
- Suministro de aire húmedo a presión (Humidificador).

**3.1.2.1 Reserva interna de agua salina.** El tanque de reserva de agua salina es el encargado de suplir de forma inmediata la cantidad de solución salina para generar la niebla que se requiere en el ensayo; el mismo que se encuentra ubicado dentro de la zona de exposición de la cámara con la finalidad de mantener el agua a una temperatura superior a la zona de exposición y aumentar la humedad dentro de la misma.

Factores para el diseño del tanque interior:

- Tamaño de la zona de exposición.
- Ubicación de la alimentación de solución salina.
- Cantidad de probetas que se van a oxidar.
- Funcionalidad del reservorio que va a utilizarse.

- Elementos o sustancias que contendrá el tanque.
- Accesorios

Figura 24: Tanque interior de reserva de la niebla salina



Fuente: Autores

Es un tanque especial diseñado de polimetilmetacrilato (acrílico), que debe mantener el agua a una temperatura superior a la zona de exposición de la cámara, además se encarga de aumentar la humedad de la cámara, este tanque de acrílico tiene una altura de 20 cm, con un diámetro de 20 cm y el espesor de la lámina de acrílico tiene 4 mm.

En el cilindro de acrílico se realizó dos agujeros el primero a 5 cm de la parte inferior donde se ubicará el racor de 6 mm, por donde ingresará el agua de los tanque auxiliares y el segundo orificio a 5 cm de la parte superior, de éste agujero saldrá por medio de una manguera flexible la solución al atomizador.

Entre las propiedades del tanque de acrílico tenemos:

- Transparencia de alrededor del 93 %. El más transparente de los plásticos.
- Alta resistencia al impacto.
- Resistente a la intemperie y a los rayos ultravioleta.
- No hay un envejecimiento apreciable en diez años de exposición exterior.
- Excelente aislante térmico y acústico.
- De fácil combustión.
- Gran facilidad de mecanización y moldeo.

Los racores son accesorios utilizados para la adaptación y conexión de las mangueras

que llevan el fluido de los tanques hacia los diferentes sistemas o mecanismos, para ellos nosotros usamos racores de 1/4 rosca NPT.

Figura 25: Racor de conexión



Fuente: Autores

**3.1.2.2 Tanque humificador.** El tanque humificador es un elemento importante de la cámara de oxidación, donde se realizó el efecto de nebulización. Después de realizar las pruebas, en el tanque de acrílico, seleccionado en primera instancia como humificador y analizar que este tanque no soporta la presión manométrica superior a 30 psi, ya que hubo fugas en los empaques de la parte superior e inferior. Se adquirió una bomba que presenta características similares y necesarias para adaptarle como humificador.

La bomba tiene una capacidad de 7.5 litros y soporta presiones superiores a 30 psi, además tiene una válvula de alivio que nos sirve para despresurizar el sistema. Su modelo es TruperFum 1.

El tanque humificador consta de elementos que nos ayudarán a calentar y controlar la temperatura y presión del agua, una válvula check en la parte inferior del tanque. Un difusor instalado en la parte inferior para la entrada del aire comprimido, un termostato que controla que el calor del agua se mantenga en 42°C, un orificio con rosca NPT de 3/8" en la parte inferior, un racor de rosca macho con el fin de que por este elemento ingrese el agua al tanque. También se realizó un orificio de rosca interna de 1/4" en la parte superior del tanque para la salida del aire caliente y húmedo que será llevado al atomizador.

Figura 26: Tanque humificador



Fuente: Autores

**3.1.2.3 Generador de calor.** Para calentar la solución salina que se encuentra en el tanque humificador se utilizó un serpentín eléctrico que está formado por un conductor conectado, en un extremo, a una resistencia de cromo-níquel para evitar contaminación del líquido y, por el otro, a un enchufe que se conecta a la corriente eléctrica con un voltaje de 120 V. Para su utilización se debe colocar la resistencia dentro del líquido y luego conectarlo a la corriente eléctrica. Es común que, por descuido, se conecte a la corriente eléctrica sin antes colocar la resistencia en el agua, lo que ocasiona que ésta se quemara.

Figura 27: Serpentín eléctrico para calentar la solución salina en el humificador



Fuente: Autores

**3.1.2.4 Controlador de temperatura.** El accesorio de control de temperatura dentro del tanque humificador que utilizamos es un termostato, que es un sistema de control



simple que abre o cierra un circuito eléctrico en función de la temperatura del agua. La temperatura ideal en el tanque es de  $42^{\circ}\text{C}$ .

Figura 28: Termostato



Fuente: Autores

**3.1.2.5 Difusor de aire.** Es un mecanismo que sirve para controlar el flujo de aire a través de paneles de control, que tiene un efecto Venturi que transforma la energía cinética del fluido en entalpía. El difusor de aire se encuentra en la parte inferior del tanque humidificador.

Figura 29: Difusor de aire



Fuente: Autores

**3.1.2.6 Manómetro para medir la presión del humidificador.** Es un instrumento que mide la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Éste instrumento nos permite obtener la presión del fluido contenido en el humidificador y nos ayuda a visualizar la presión de vapor ideal dentro del humidificador, tiene un rango de 0 hasta 100 psi. Este instrumento de medida estará ubicado en la parte superior del recipiente donde controlara la presión del vapor que no sea superior a 25 psi.

Figura 30: Manómetro analógico



Fuente: Autores

**3.1.2.7 Atomizador.** Como atomizador se seleccionó una pistola aerográfica, donde el aire que sale del humidificador a una presión de 25 psi y el fluido a pulverizar que sale desde el tanque interior de la cámara entran en la pistola por conductos independientes, mezclándose en el exterior de la boquilla de aire de forma controlada, al accionar el gatillo hacia atrás se produce la mezcla de aire y solución.

Figura 31: Pistola aerográfica



Fuente: Autores

De esta forma se crea la pulverización y el abanico deseado. Dejando libre el gatillo, la aguja se desplaza hacia delante y se cierra sobre el pico, cortando el suministro de producto. Acto seguido se produce el cierre de la válvula, terminando la salida, y por tanto la aplicación. Este atomizador está situado arriba del tanque auxiliar de modo que la niebla salina se proyecta en dirección de las probetas.

**3.1.2.8 Válvula check.** Son conocidas como válvula de retención, “está destinada a impedir el retorno del fluido” (RAMIREZ, 2012) dentro de una línea de distribución. La válvula check está ubicada en la parte inferior del humidificador conectado a la manguera que sale de la línea de distribución (compresor).

Figura 32: Válvula check



Fuente: Autores

**3.1.3 Marco estructural de la cámara de niebla salina.** Es la zona rígida del equipo, se diseñó para mantener segura a la cámara, a su cubierta y accesorios. Logrará dar una seguridad al equipo cuando sea necesario desplazarla e introducir de una forma segura las probetas. Esta parte estructural está construida con un tubo cuadrado de acero inoxidable  $\frac{3}{4}$  por 1 mm de espesor, unidas entre sí mediante una soldadura eléctrica, la estructura está protegido por planchas de tol negro de 0.60 pulgadas. En la parte inferior del equipo se colocó un tol a 15 cm de la base de la cámara donde se insertó el sistema de calefacción de la cámara.

La máquina es pintada de color negro para anticorrosiva debido a los requerimientos de la norma ASTM.

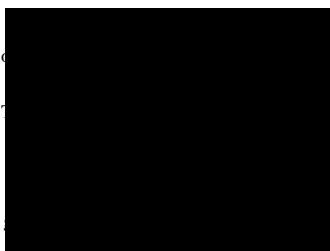


Figura 33: Placa



Fuente: Autores

**3.1.4 Sistema de control de temperatura de la cámara de niebla salina.** En el mercado existen varios mecanismos para calentar un ambiente cerrado y controlar la temperatura ideal para la oxidación de las probetas, pero debido a su funcionalidad, estética, costos y fácil manteneabilidad, optamos por una resistencia tubular con aletas mostrada en la figura.

Figura 34: Resistencia calorífica de 1500 W



Fuente: Autores

Para calentar el ambiente dentro de la cámara de nebulización elegimos una resistencia eléctrica de 1500 W que tiene un rango de temperatura de 0 a 99°C para cumplir con las normas del ASTM B – 117, esta resistencia es tubular fabricada de acero inoxidable y tienen la característica de resistir choques térmicos, corrosión, altas temperaturas y vibraciones.

**3.1.4.1 Controlador de temperatura.** El elemento que se utilizó para controlar la temperatura es un PID digital REX – C100, que tiene un rango de temperatura de 0 a 400°C. Con una termocupla tipo K. El microordenador permite el ajuste de conmutación de potencia y, en conjunto a la tecnología de montaje superficial (SMT), el controlador es muy inteligente y confiable. Con funciones especiales como el auto diagnóstico de ajuste automático y control inteligente se puede utilizar ampliamente para visualización y control del parámetro como temperatura, presión y el flujo y nivel de líquido.

Figura 35: PID digital REX – C100



Fuente: Autores

Además para el control de temperatura conectamos un contactor GMP – 30P2, que hace la función de un interruptor, el cual recibe la señal del PID digital REX – C100 para abrir y cerrar el paso de los electrones. Cuando la termocupla sensa una temperatura de 37°C

manda una señal al contactor el cual abre sus contactos auxiliares que impiden el paso de energía hacia la resistencia la cual se apaga. Si el ambiente de la cámara de oxidación baja su temperatura a 35°C la termocupla manda la señal al contactor el cual se enclava y permite que la resistencia se encienda nuevamente hasta alcanzar el calor ideal limitado de 37°C por el dispositivo de control.

Tabla 4: Características técnicas del controlador de temperatura

<b>Precisión de medición</b>	+/- 0.5 %
<b>Tolerancia compensación frío extremo</b>	± 2
<b>Resolución:</b>	14 bit
<b>Ciclo de muestreo</b>	0,5 s
<b>Alimentación</b>	Ac 85-265 V 50 Hz
<b>PIN de control</b>	ON / OFF, PID por etapas y PID continuo
<b>Salida de relay</b>	Capacidad de contacto 250 V AC 3 A (carga resistiva)
<b>Salida de pulsos de voltaje</b>	0/12 V (adecuado para relay SSR estado sólido)
<b>Salida Función de alarma</b>	2 vías
<b>Rango de detección de temperatura</b>	0 a 400 °C
<b>Consumo de energía</b>	<10 V A
<b>Ambiente sin gas corrosivo</b>	30 ~ 85 % Rh
<b>Color</b>	Negro
<b>Tamaño</b>	106 x 47 x 55 mm

Fuente: <http://www.piedemonte.pe/es/termometros-y-equipos-medicion/225-control-temperatura-digital-dual-pid-rex-c100-0c-a-400c.html>

**3.1.4.2 Ventilador.** Este dispositivo produce una corriente de aire que nos ayude a distribuir el calor que genera la resistencia eléctrica, está ubicado debajo de la resistencia calorífica que distribuirá el calor a toda la cámara de oxidación de manera uniforme. Se accionara al mismo tiempo que la resistencia.

Figura 36: Ventilador



Fuente: Autores

**3.1.5** *Sistema de suministro de aire a presión. Para producir la presión requerida en la construcción de la cámara de nebulización se utilizó un compresor que eleva la presión del aire a 25 lb/pulg<sup>2</sup>, presión de trabajo deseado. Los mecanismos y mandos neumáticos se alimentan desde una estación central. Entonces no es necesario calcular ni proyectar la transformación de la energía para cada uno de los consumidores.*

Es muy importante que el aire sea puro para tener una excelente nebulización ya que es requerido por las norma ASTM B-117 además, si es puro el generador de aire comprimido tendrá una larga duración.

El compresor necesario para realizar nuestro trabajo es de 2 HP debido a que trabajamos con presiones bajas que oscilan entre (30 a 45 lb/pulg<sup>2</sup>). La presión máxima manejada es de 25 lb/pulg<sup>2</sup> para ello es necesario emplear una unidad de mantenimiento que regula y reduce la presión de entrada.

Figura 37: Compresor de 2 HP



Fuente: Autores

La elección del tamaño y capacidad de la unidad de mantenimiento se consideró de acuerdo al caudal y la presión de aire que vamos a emplear en la nebulización ya que si el caudal es demasiado grande al requerido, se produce en las unidades una caída de presión demasiado grande, debida esta razón tenemos que tomar en cuenta lo siguiente:

- Respetar los valores indicados por el fabricante.
- La presión de trabajo no debe sobrepasar el valor estipulado en la unidad.
- La temperatura no deberá ser tampoco superior a 50 °C (valores máximos para recipiente de plástico).
- Los dispositivos conectados en los diferentes puntos de un circuito neumático necesitan recibir aire con una presión uniforme y libre de impurezas.

**3.1.5.1 Unidad de mantenimiento.** Está formada por tres elementos distintos: filtro, regulador y lubricador.

Figura 38: Unidad de mantenimiento



Fuente: Autores

*Filtro de aire:* Su objetivo es detener las impurezas que arrastra el aire comprimido (polvo, polen, restos de pequeñas oxidaciones, etc.). El aire penetra en el filtro por la parte superior izquierda. Una placa deflectora especialmente colocada le obliga a realizar un violento movimiento de rotación. Las partículas más pesadas y las gotitas de vapor son impulsadas por la fuerza centrífuga contra las paredes del recipiente, donde se condensa el vapor de agua que cae al fondo del recipiente junto con las impurezas. Éstas son evacuadas al exterior a través de una abertura de vaciado tapada por un tornillo (tornillo de purga) que se encuentra en el fondo del recipiente.

Después, el aire se filtra a través de un cartucho filtrante con material poroso, que, aunque permite el paso del aire, impiden que pasen las partículas que lleva en suspensión. Los cartuchos tienen que sustituirse cada cierto tiempo, ya que, si bien siguen filtrando incluso cuando están sucios, hay que tener en cuenta que la suciedad produce mayor resistencia al flujo del aire y, como consecuencia, se reduce la presión del aire de utilización. El regulador de presión tiene como misión mantener el aire que utiliza el circuito neumático a una presión constante, independientemente de las variaciones de presión que se produzcan.

Una vez filtrado, y regulada su presión, el aire comprimido pasa a través del lubricador mezclándose con una fina capa de aceite que arrastra en suspensión hasta las partes móviles de los dispositivos neumáticos. De esta manera son lubricados disminuyendo la fricción y evitando el desgaste.

Al pasar el aire por el estrechamiento que hay en el lubricador, aumenta la velocidad y disminuye la presión. Para llegar al atomizador donde se realiza la nebulización. (PORRAS, 2010)

**3.1.6 Sistema de suministro de solución salina.** El sistema para suministrar agua salina está constituido por un tanque auxiliar, con un volumen de 20 litros de solución salina. El tanque auxiliar es de plástico elegido por su diversidad de uso, facilidad de adquirir y sus costos económicos.

El tanque auxiliar posee un agujero en su parte inferior donde está ubicado un racor recto de 6mm de diámetro, por intermedio de manguera de color azul conecta al humidificador.

Figura 39: Tanques externos de reserva



Fuente: Autores



En el medio de la manguera instalamos una llave de paso, quien controla la entrada de la solución salina al tanque interior. El tanque auxiliar se encuentra en la parte superior de la cámara de oxidación.

**3.1.6.1 Tipo de agua utilizada en la nebulización.** Están definidos los diferentes niveles de pureza del agua en función de los parámetros físicos químicos, tales como conductividad eléctrica, resistividad, contenido de carbono, oxígeno o sílice; que se muestran en la tabla 5; donde se presenta la clasificación del agua de acuerdo a sus características fisicoquímicas, según las normas ASTM D1193-2001 (“Standard specification for reagent water”), las cuales hacen referencia a los niveles de pureza como calidades o tipos de agua.

Tabla 5: Especificaciones del tipo de agua según la norma ASTM D1193: 2001

Parámetros fisicoquímicos	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV
Conductividad eléctrica valor máximo a 25°C	0.056	1.0	0.25	5.0
Resistencia mínima a 25°C	18	1.0	4.0	0.2
pH a 25°C	-	-	-	5.0 a 8.0
Carbono orgánico total (COT) valor máximo mg/L	50	50	200	No hay límite
Sodio valor máximo µg/L	1	5	10	50
Cloruros valor máximo mg/L	1	5	10	50
Sílice Total valor máximo µg/L	3	3	500	No hay límite

Fuente: [www.redalyc.org](http://www.redalyc.org)

En la tabla 5 aparece una comparación de los parámetros fisicoquímicos y valores de las definiciones de calidad de agua según ASTM D1193. (RODES, 2010) El tipo de agua que utilizaremos para la nebulización en la cámara de niebla salina es la tipo IV debido a sus características físicas – químicas mostradas en la tabla.

**3.1.7 Diseño del porta probetas.** El porta probetas es un elemento esencial de la cámara de niebla salina se encuentra en la parte interior, su función es sostener las probetas de acero de una forma segura y didáctica ya que sobre estas probetas se rociará la niebla salina

El porta probetas se diseñó de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM B117,

la cual menciona que deben tener una inclinación de 15 a 30 grados, para que el ataque de la niebla salina sea perfecto y equitativo por toda la superficie de la probeta a ensayarse.

Figura 40: Porta probetas



Fuente: Autores

El porta probetas fue diseñado con una lámina de acrílico debido a sus características expuestas anteriormente. Las láminas de acrílico tienen un espesor de 3 mm y un ángulo de inclinación de 15 grados, su largo es de 53 cm y de altura 23 cm. El porta probetas está diseñado para colocar 6 probetas con una distancia de 5 cm entre ellas.

Figura 41: Porta probetas



Fuente: Autores

## CAPÍTULO IV

### 4. PRÁCTICA DE LABORATORIO DE UN ENSAYO DE CORROSIÓN

En este capítulo se explica la secuencia adecuada para la correcta utilización de la cámara en los ensayos de niebla salina que realizaremos en el laboratorio, con el propósito de acelerar el deterioro del metal o la desintegración de la película protectora de los aceros que se analizarán en el interior de la cámara, de una manera segura y confiable mediante un ambiente artificial creado por nosotros.

Básicamente el procedimiento involucra, atomizar o pulverizar una solución salina sobre la muestras de aceros a ensayarse en la cámara de nebulización.

#### 4.1 Uso de la cámara de niebla salina.

- Se procede a la revisión de la estructura interna, externa y los soportes de la cámara.

Figura 42: Cámara de niebla salina.



Fuente: Autores.

- Se inspeccionó la estructura de vidrio y los sistemas hidro/neumáticos para evitar fugas de aire o agua en el sistema.
- Se revisó las conexiones eléctricas para con ello evitar corto circuitos y fallas por

falta de suministro de energía.

Figura 43: Inspecciones del sistema eléctrico.



Fuente: Autores.

- Nos aseguramos que las válvulas 1, 2 y 3 funcionen correctamente, para permitir con ello el paso adecuado de los distintos fluidos hacia los diferentes sistemas.

Figura 44: Revisión de válvulas.



Fuente: Autores

- Se agregó la solución salina y el agua en los respectivos recipientes de reserva; los mismos que están ubicado en la parte posterior de la cámara.

Figura 45: Tanques de reserva.



Fuente: Autores.

- Abrimos la válvula 1, permitiendo el paso del agua del tanque de reserva hacia el

humificador, asegurándonos que el nivel óptimo para su funcionamiento alcance los 7 litros.

Figura 46: Tanque humificador.



Fuente: Autores.

- Accionamos la válvula 2 permitiendo el paso de la solución salina hacia el tanque interior y verificamos que éste se encuentre con la cantidad suficiente de solución requerido para el ensayo (1 litro).

Figura 47: Revisión del nivel de agua.



Fuente: Autores.

- Verificamos que la válvula de paso de aire del compresor hacia la máquina se

encuentre cerrada.

- Se ubicó en el interior de la cámara de oxidación las probetas de acero. El tipo de probetas de aceros explicaremos más adelante.

Figura 48: Probetas en el interior de la cámara.



Fuente: Autores.

- Accionamos el breaker general, mismo que dotará de energía a la máquina con 110 V, esto lo evidenciamos al encenderse la luz piloto 1.

Figura 49: Breaker general.



Fuente: Autores.

- Accionamos el interruptor 1 en el tablero de control, el mismo que enciende la niquelina y el ventilador. Regulamos la temperatura interna de la cámara mediante un set point a 37 °C.

Figura 50: Controlador de temperatura en la zona de exposición.



Fuente: Autores.

- Mediante el termostato regulamos la resistencia de inmersión que se encuentra en el tanque humidificador a 42 °C, temperatura óptima de trabajo del tanque humidificador.

Figura 51: Controlador de temperatura del humidificador.



Fuente: Autores.

- Una vez se ha alcanzado las temperaturas ideales de trabajo: 37°C en el interior de la cámara y 42°C en el humidificador se accionó el interruptor 2, que es el encargado de encender el compresor.

Figura 52: Encendido del compresor.



Fuente: Autores.

Mediante la unidad de mantenimiento conectada al compresor nos aseguramos que el aire proveniente del mismo sea libre de impurezas y suciedad.

Figura 53: Unidad de mantenimiento.



Fuente: Autores.

- Abrimos la válvula de paso de aire del compresor con lo cual permitimos el paso del aire hacia el humidificador; y de igual manera la válvula 3 la cual permite el paso del aire del humidificador hacia el atomizador.
- Mediante la válvula reguladora de flujo de aire del compresor regulamos la presión de trabajo para el tanque humidificador en 20 psi, el mismo que observamos en el manómetro ubicado sobre el humidificador.



Figura 54: Regulador flujo de presión.



Fuente: Autores.

- Al encontrarse abierta la válvula 3 la pistola procede a atomizar la solución salina con el aire logrando así el efecto que necesitamos para el desarrollo de la práctica.

Figura 55: Pistola atomizadora.



Fuente: Autores.

- Durante el desarrollo de la práctica debemos tener muy en cuenta que siempre se mantengan los niveles óptimos de agua y solución tanto en el humidificador como en el tanque interior de solución para con ello asegurar el adecuado funcionamiento.
- Una vez se encuentra la cámara en perfecto funcionamiento desarrollamos la práctica cuya duración fue de 36 horas en las probetas previamente ingresadas en la zona de exposición.

Figura 56: Ensayo de corrosión.



Fuente: Autores.

- Al culminar la práctica procedemos al apagado de la máquina mediante los interruptores 1 y 2.
- Retiramos las probetas ensayadas y procedemos al análisis de resultados los mismos que detallamos posteriormente.
- Realizamos la limpieza general de la cámara.

Figura 57: Resultados obtenidos en el acero AISI-SAE 1045.



Fuente: Autores.

#### 4.2 Toma de datos del ensayo de corrosión

Para tomar datos eficaces en el ensayo de corrosión dentro de la cámara de niebla salina, las probetas han permanecido expuestas en su interior por 36 horas, por esta

razón se realizaron inspecciones en intervalos de tiempo de 8 horas, para monitorear el incremento o variación de sus características debido al grado de corrosión.

**4.2.1** *Dimensión, forma y marcado de las probetas.* Para elegir las probetas utilizadas en el ensayo de corrosión se realizó una visita técnica a la empresa Iván Bohman en la ciudad de Guayaquil, quienes nos asesoraron con los aceros comúnmente utilizados en la vida diaria.

Por lo cual se tomó en consideración las siguientes probetas, las mismas que son utilizadas en aplicaciones similares como fabricación de bujes, cuñas, piñones, ejes de transmisión y tornillos.

- Acero AISI – SAE 1518
- Acero AISI – SAE 1018
- Acero AISI – SAE 1045

**4.2.1.1** *Acero AISI-SAE 1045.* Se utiliza cuándo la resistencia y dureza son necesarias, en condición de suministro. Este acero con un porcentaje medio en carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación. (BOHMAN, 2014)

Figura 58: Acero AISI-SAE 1045



Fuente: Catálogo de productos Iván Bohman C.A.

El Acero AISI-SAE 1045 presenta la siguiente característica:

Tabla 6: Propiedades y aplicaciones Acero AISI –SAE 1045

<b>Designación: ASTM A 108</b>
--------------------------------

<b>Propiedades mecánicas:</b> Dureza 163 HB (84 HRb) Esfuerzo de fluencia 310 MPa Esfuerzo máximo 565 MPa	<b>Propiedades físicas:</b> Densidad 7.87 g/cm <sup>3</sup> (0.284 lb/in <sup>3</sup> )
<b>Propiedades químicas:</b> 0.43 – 0.50 % C 0.60 – 0.90 % Mn 0.04 % P máx 0.05 % S máx	<b>Aplicaciones:</b> Los usos principales para este acero es piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

Fuente: Catálogo de productos Iván Bohman C.A

**4.2.1.2 Acero AISI-SAE 1018.** Este acero de bajo - medio porcentaje de carbono tiene buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono. Se presenta en condición de calibrado (acabado en frío). Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria.

Figura 59: Acero AISI-SAE 1018



Fuente: Catálogo de productos Iván Bohman C.A

El Acero AISI-SAE 1018 presenta las siguientes propiedades:

Tabla 7: Propiedades y aplicaciones Acero AISI –SAE 1018

<b>Designación: ASTM A 108</b>	
<b>Propiedades mecánicas:</b> Dureza 126 HB (71 HRb) Esfuerzo de fluencia 370 MPa Esfuerzo máximo 440 MPa (63800 PSI) Elongación máxima 15% (en 50 mm) Reducción de área 40% .	<b>Propiedades físicas:</b> Densidad: 7.87 g/cm <sup>3</sup> (0.284 lb/in <sup>3</sup> )

<b>Propiedades químicas:</b> 0.15 – 0.20 % C 0.60 – 0.90 % Mn 0.04 % P máx 0.05 % S máx	<b>Aplicaciones:</b> Se utiliza en operaciones de deformación plástica como remachado y extrusión. Se utiliza también en componentes de maquinaria debido a su facilidad para conformarlo y soldarlo. Piezas típicas son los pines, cuñas, remaches, rodillos, piñones, pasadores, tornillos y aplicaciones de lámina.
---	---

Fuente: Catálogo de productos Iván Bohman C.A

**4.2.1.3 Acero AISI-SAE 1518.** Acero al carbono con alto contenido de manganeso. Para fabricación de componentes de maquinaria que requieran alta resistencia. La forma de tubo le permite ahorro de material cuando requiera fabricar piezas que deben tener hueco en su centro.

Es adecuado para el proceso de cementación dejando una capa superficial dura y su núcleo tenaz.

Figura 60: Acero AISI-SAE 1518



Fuente: Catálogo de productos Iván Bohman C.A

El Acero AISI-SAE 1518 presenta las siguientes propiedades:

Tabla 8: Propiedades y aplicaciones Acero AISI –SAE 1518

<b>Designación: ASTM A 29</b>
-------------------------------

Propiedades mecánicas: Dureza 190 - 220 HB (92 - 97 HRb) Esfuerzo de fluencia 490 MPa (71 KSI) Esfuerzo máximo 657 MPa (95 KSI)	Propiedades físicas:
Propiedades químicas: 0.15 - 0.21 % C 1.10 - 1.40 % Mn 0.04 % P máx 0.05 % S máx	Aplicaciones: Pueden fabricar bujes, acoples, piñones, y ejes de transmisión. Con el tratamiento de cementación se pueden fabricar engranajes, levas, ejes y tornillos.

Fuente: Catálogo de productos Iván Bohman C.A.

**4.2.2 Preparación y selección de las probetas de acero.** Es necesario que las probetas que utilizamos estén adecuadas, es decir que tengan un correcto tratamiento de limpieza, el mismo que describimos a continuación:

*Tratamiento Químico.* Debido a pequeña manchas como ensuciamiento, depósito, incrustación que altere las condiciones normales del acero y su monitoreo en el ensayo, eliminamos mediante la recirculación de soluciones químicas, previamente formuladas de acuerdo al material los equipos a limpiar, así como a las características químicas.

*Tratamiento mecánico.* Se ligó la superficie de los aceros para retirar algunas manchas que desorienten el ensayo de las probetas en la cámara de oxidación.

Figura 61: Preparación de las probetas



Fuente: Autores

*Agua.* Es necesario para asegurarnos que no quede algún químico o microestructura en la superficie del acero (probeta) lavarlo con abundante agua.

### 4.3 Interpretación de resultado

El incremento de la corrosión disminuye la vida útil de un acero. Por lo tanto, las acciones para remediar las tasas de corrosión elevadas, nos permiten alcanzar la reducción de costos de mantenimiento.

**4.3.1** *Grado de corrosión del metal.* En la cámara de niebla salina se analizó el grado de corrosión que poseen los distintos aceros después de exponerlos a ésta, para ello creamos un ambiente ideal y práctico donde se simuló un escenario real. Esta técnica nos permite predecir la vida útil que tendrá un material al interactuar con el ambiente en análisis y predecir con mayor certeza qué tipo de mantenimiento y en qué periodo es lo aconsejable realizarlo.

La dificultad para desarrollar esta técnica es que resulta necesario contar con un registro de datos de la vida útil de algún metal en el ambiente real, para extrapolarlos con los datos obtenidos en el laboratorio y así determinar la relación existente entre ellos.

A continuación detallamos el procedimiento para realizar la extrapolación de datos donde “B” representa el material del cual se conoce el tiempo que tarda en corroerse en un ambiente real, los materiales a, b, c, d, e, representan a los metales que se evalúan dentro de la cámara donde “b” es el mismo material que “B”. De allí el tiempo que se tarda en aparecer las primeras manchas o marcas de corrosión en “B” esta, representado por “tB1” el tiempo que se tarda en aparecer las primeras marcas de corrosión en los materiales que están sometidas a las pruebas en la cámara de niebla salina estarán representadas por “ta1, tb1, tc1, td1, te1”, el tiempo que se tarda en cubrir el 10 % de la probeta estará representado por “ta2, tb2, tc2, td2, te2”, el tiempo en que se tarda la corrosión en cubrir un 20% de las probetas estarán representados “ta3, tb3, tc3, td3, te3”.

Como los elementos son proporcionales entre si analizaremos con una regla de tres donde afirmaremos lo siguiente:

El tiempo que se tarda en aparecer la corrosión en el ambiente real material A será:

$$tA1 = \frac{ta1 * tB1}{tb1}$$

El tiempo que se tardara la corrosión en cubrir el 10% de materia “a” en el ambiente real será:

$$tA2 = \frac{ta2 * tA1}{ta1}$$

El tiempo que tardara la corrosión en cubrir el 20% del material “a” en el ambiente real será:

$$tA3 = \frac{ta3 * tA1}{ta1}$$

Podemos afirmar que para los casos “c, d, e” será exactamente iguales. (DAHBURA, 2012)

**4.3.2 Nivel de degradación de un recubrimiento.** Todos los revestimientos de cualquier materia que sea sufren una degradación a lo largo del tiempo, independientemente del tipo de exposición al que estén sujetos. Las anomalías que surgen pueden ser las más diversas, tales como, agrietamiento, descamación del revestimiento u oxidación del acero pintado.

La evaluación del tipo y magnitud de estos defectos debe realizarse de una forma universalmente, para que cualquier entidad implicada se pueda entender convenientemente con todas las demás interesadas. La Norma ISO 4628 “Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los revestimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos” fue creada con ese propósito y permite evaluar y cuantificar los principales defectos de los revestimientos.

Es una técnica que tiene similitud a la analizada anteriormente solo que esta se aplicó para los recubrimientos de tipo no metálico. Esta técnica nos ayudó a predecir la vida útil que tiene el recubrimiento expuesto en la cámara de oxidación, además para que los datos que se obtuvo nos dé una guía eficaz para realizar el tipo de mantenimiento y en



qué tiempo es coherente hacerlo. También en la técnica del grado de corrosión de un metal es necesario contar con una base de datos de los recubrimientos que se utiliza comúnmente en el ambiente para compararlos con los recubrimientos expuestos en nuestra cámara.

A continuación vamos a detallar los pasos a realizar para la obtención de datos reales donde “B” es el recubrimiento el cual es conocido el tiempo que se tarda en dar una señal como burbujas o cascaramiento del ambiente de trabajo, los metales a, b, c, d, e, representan a cierto grupo de recubrimiento que se utilizará en el ensayo, el cual evaluaremos dentro de la cámara de niebla salina. La letra “b” representa el recubrimiento real que posee B, es decir si “B” representa una pintura que está expuesta en la vida real, la letra “b” será la misma pintura expuesta dentro de la cámara de niebla salina para el ensayo. El tiempo que se tarda en generar señales de corrosión en “B” está representado por  $t_{B1}$ , el tiempo que tarda la corrosión en aparecer en los espacios sin recubrir en “B” está representado por “ $t_{B2}$ ”, el tiempo que tarda en generar burbujas y descamación en las probetas, se representó con “ $t_{a1}, t_{b1}, t_{c1}, t_{d1}, t_{e1}$ ”, el tiempo que tarda la corrosión en revelarse en los espacios sin recubrir está dado por “ $t_{a2}, t_{b2}, t_{c2}, t_{d2}, t_{e2}$ ”, debido a que el comportamiento es proporcional entre sí, por eso podemos afirmar que:

El tiempo que se tardará en aparecer la corrosión en el metal “a” en el ambiente será:

$$t_{A1} = \frac{t_{a1} * t_{B1}}{t_{b1}}$$

El tiempo que tardara la corrosión en aparecer en un 10% del metal “a” en el ambiente real será:

$$t_{A2} = \frac{t_{a2} * t_{B2}}{t_{b2}}$$

**4.3.3** *Peso perdido de un material debido a la corrosión.* La eficiencia del desarrollo de esta investigación se basa en el análisis de las probetas que se utilizó y han sido expuestas, por ello la pérdida de peso es una técnica experimental muy eficiente y

sencilla de realizar. Esta técnica consiste en exponer la probeta en un ambiente corrosivo que vamos a crear dentro de la cámara de nebulización por un cierto periodo de tiempo predeterminado y después evaluamos la cantidad de material que ha perdido por corrosión. El tiempo que se expone la pieza, la pérdida de peso, el área de la pieza y la densidad del material son los parámetros que analizamos y obtenimos la cantidad de corrosión con que cuenta el metal.

La técnica de pérdida de peso es la más simple y la más conocida de todos los métodos de monitoreo de corrosión. Esta técnica se basa en la exposición por un tiempo determinado de una muestra del mismo material de la estructura supervisada en el mismo ambiente corrosivo al que la estructura está expuesta.

La medición obtenida de los cupones al analizarse es la pérdida de peso que ocurre en la muestra durante el período de tiempo al que ha sido expuesto, referido como tasa de corrosión (DAHBURA, 2012)

La forma de expresar la cantidad de corrosión que adquiere el metal en ensayo por un cierto tiempo predeterminado, se expresa con la unidad de mpy (mils per year) o en mm/y (millimeters per year) que expresa la cantidad de corrosión que penetra el material. Los mils expresión por año es la forma más conveniente de expresar las tasas de corrosión y se des uso en todo este texto “Esta expresión se calcula fácilmente a partir de la pérdida de peso de un metal, durante el proceso de corrosión a continuación se expresa la fórmula”. (FONTANA, 2004)

$$mpy = \frac{W * 534}{D * A * T}$$

Donde **W** : el peso que pierde el material expresados en gramos

**D** : densidad del material, en gramos sobre centímetros cúbicos

**A** : Área del material en pulgadas cuadradas

**T** : tiempo que se expone el material en ambiente corrosivo expresado en días.

**4.3.4 Cambios en la conductividad eléctrica de un metal.** Esta técnica permite medir la conductividad eléctrica, es decir la capacidad que tiene un material en dejar circular

la corriente. Antes y después de realizar el ensayo, ya que debido a la corrosión y la pérdida de material que puede tener la pieza que está siendo analizada su conductividad eléctrica será alterada de modo que se pueda caracterizar por medio de una tabla de relación de los cambios de la conductividad eléctrica del material con el tiempo de ensayo y la corrosión sufrida por la pieza.

**4.3.5** *Cambios en la resistencia a la tracción de un metal.* La técnica mide el cambio en la resistencia de un elemento metálico corroído expuesto al medio ambiente de la cámara de niebla salina. La acción de la corrosión en la superficie del metal produce un decrecimiento en el área de la sección transversal de dicho sensor, lo cual representa un incremento en la resistencia eléctrica. El aumento en esta resistencia puede ser relacionada directamente con la pérdida de metal, y la pérdida de metales función del tiempo es la definición de la tasa de corrosión. Aunque es una técnica que promedia la corrosión en el tiempo, los intervalos entre cada medición pueden ser mucho más cortos que los de los cupones de pérdida de peso. El monitoreo de la resistencia se aplicará en el siguiente:

- La tasa de corrosión puede ser obtenida de forma directa.
- La probeta se puede mantener instalada y conectada en línea hasta que su vida operacional haya sido agotada.
- Responde de forma rápida a los cambios en las condiciones corrosivas, y puede ser utilizado como disparador de alarmas.

#### **4.4 Resultados y elaboración de la guía del ensayo de corrosión**

Al realizar el ensayo descrito en la “Guía para realizar los ensayos de corrosión en el laboratorio” (Anexo D) en las tres probetas anteriormente especificadas obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 9. Comparación de resultados

Acero	Prueba antes del ensayo	Prueba luego del ensayo	Composición principal	Tipo de corrosión	Interpretación de resultados
Acero AISI- SAE 1518			Constituido por (10-1.65% manganeso y 0.18% en carbono)	Corrosión Uniforme	Todo acero al carbono que tenga una aleación es menos propenso a corroerse. El acero AISI SAE 1518 al contener manganeso sufrió menos corrosión ya que el porcentaje de manganeso es mayor que el de carbono.
Acero AISI- SAE 1018			Bajo contenido de carbono 0.18% en carbono	Corrosión por picadura	El carbono en este material se encuentra distribuido en ciertas zonas del acero debido al bajo porcentaje. Por este motivo existe una corrosión por picadura ya que el ataque se da solo en los lugares donde se ubica el carbono.
Acero AISI- SAE 1045			Alto en carbono con 0.45%	Corrosión uniforme	Debido a que este acero contiene mayor porcentaje de carbono éste se distribuye sobre todo el material razón por la cual el ataque es general produciéndose una corrosión uniforme.

Fuente: Autores

#### 4.5 Plan de mantenimiento de la cámara de niebla salina

Antes, durante y después de la utilización de la cámara es indispensable realizar un mantenimiento adecuado para conservar la integridad de ésta, por lo cual elaboramos un banco de tareas para la ejecución en la cámara.

Tabla 10: Banco de tareas

Descripción de tareas	Frecuencia	Procedimiento	Herramientas y materiales
<b>Compresor</b>			
Revisión del motor	Trimestral	Apagar el compresor	Destornillador Waipe
		Quitar la tapa de la carcasa	
		Revisar el estado del eje y rodamientos	
Revisión del nivel de aceite	50 h	Apagar el compresor	Destornillador Waipe
		Medir el nivel de aceite	
Cambio de Aceite	500 h	Abrir el grifo que contiene el aceite	Destornillador Aceite Waipe
		Vaciar el aceite	
		Limpiar el Carter	
		Poner el nuevo aceite	
Revisión de los filtros	100 h	Visualizar el estado de los filtros	
Revisión del manómetro	100 h	Visualizar el estado del manómetro	
Revisión de las válvulas	100 h	Revisamos que no haya fugas	
<b>Humificador</b>			
Inspección del manómetro	Antes de la práctica	Revisamos la presión que marca el manómetro	
Revisión de las mangueras	Después de la práctica	Revisamos que no haya fugas	
Inspección del difusor de aire	Mensual	Inspección visual	
<b>Sistema eléctrico</b>			
Inspección eléctrica	Mensual	Revisión de la niquelina y serpentín	Destornillador
Revisión del tablero eléctrico	Anual	Revisión de cables, contactores y terminales	Multímetro
Revisión del ventilador	Anual	Inspección visual	Destornillador
<b>Estructura interna y externa</b>			
Revisión de la estructura interna y externa	Mensual	Apagamos la cámara	Waipe
		Inspección visual	
		Revisamos que no haya fugas	
Limpieza general	Después de la práctica	Apagamos la máquina	Waipe Jabón Agua
		Realizamos las purgas	
		Retiramos las probetas	
		Limpiamos con agua el interior	
		Retiramos la solución salina de los tanques de reserva	
		Lavamos los tanques externo e internos	

Fuente. Autores

Para determinar la criticidad de cada uno de los componentes de la cámara se tomó en cuenta la Matriz de Criticidad (Anexo E).

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Se diseñó y construyó una cámara de niebla salina, la misma que crea un ambiente de niebla salina ideal para realizar ensayos de corrosión cumpliendo satisfactoriamente los objetivos planteados en el inicio del trabajo de grado.

El diseño y construcción de la cámara de niebla salina tuvo un sustento en la norma ASTM B - 117, la cual establece los parámetros principales para la adecuada selección de materiales y elementos.

Para la nebulización se trabajó con agua TIPO IV, según la norma ASTM D1193, debido que no hay límite de carbono orgánico total, y nos permite realizar los ensayos en los distintos aceros, que contienen porcentajes de carbono distintos según las especificaciones de AISI - SAE.

Se estableció el procedimiento idóneo de funcionamiento de la cámara, tomando en cuenta la norma ASTM B 117.

De la realización del ensayo se estableció que de las tres probetas la más propensa a sufrir corrosión fue el Acero AISI - SAE 1045; debido a que tiene un mayor porcentaje de carbono.

Posterior a la utilización de la cámara se estableció un plan de mantenimiento y limpieza del equipo con la finalidad de preservar al equipo y sus componentes.

#### 5.2 Recomendaciones

Considerar las especificaciones de la norma ASTM B -117 para la realización de ensayos en la cámara de niebla salina.

Respetar los niveles y temperaturas idóneas de trabajo en los diferentes componentes del equipo

Trabajar con los líquidos establecidos en las normas: ASTM D1193 (agua tipo IV) y ASTM B117 (solución salina al 5% NaCl en peso).

Encender y utilizar la cámara según los pasos establecidos en la guía del ensayo

Limpiar el equipo y sus componentes según el plan de limpieza y mantenimiento establecido.

## BIBLIOGRAFÍA

**ASTUDILLO, César. 2007.***Máquinas eléctricas.* 2007.

**BARRUETO, Durant. 2003.***Recubrimiento por termo-rociado : teoría, normas técnicas y aplicaciones prácticas.* 2003.

**BOHMAN, Ivan. 2014.***CATÁLOGO DE PRODUCTOS.* GUAYAQUIL : s.n., 2014.

**CREUS, Antonio. 2010.***Instrumentacion Industrial.* [ed.] Alfaomega. Barcelona Espana : MARCOMBO, 2010. pág. 729. Vol. octavo.

**CUESTA, Francisco. 2009.***ANALISIS DEL FENOMENO DE LA CORROSION EN MATERIALES DE USO TECNICO.* 2009.

**DAHBURA, Luis. 2012.** [En línea] 2012.

**DE SOUZA, K.M. 2004.***ASTM Prohesion Test Predicts Service Performance of Prepainted Steel Sheet.* 2004.

**DUFOUR, Jim. 2006.***An Introduction to Metallurgy.* 2006.

es.scribd.com/doc/80494302/Corrosion-Monitoring-Spanish. [En línea]

**FINN, Alonso. 1995.***FISICA GENERAL.* 1995.

**FLORES, Olaya. 2012.** <http://www.bdigital.unal.edu.co/5626/>. [En línea] 17 de Enero de 2012.

**FONTANA, Mars G. 2004.***Corrosion Engineering.* segunda. s.l. : Michael B. Bever, 2004. pág. 9.

**HUERTA, Enrique Otero. 2012.***Corrosion y Deegradacion de materiales.* Madrid : Vallehermosa, 2012.

**IIRSACERO. 2012.**  
[[http://iirsacero.com.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=28&Itemid=4](http://iirsacero.com.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=28&Itemid=4). [En línea] 2012.

**L AVERDE, Victor. 2011.**  
[http://www.bdigital.unal.edu.co/5626/1054/victorhugolaverdelaverde\\_2011.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/5626/1054/victorhugolaverdelaverde_2011.pdf). [En línea] 2011.

**MARTINEZ, Enric. 2009.***El Shot Peening y sus aplicaciones.* s.l. : AIAS, 2009.



**M A R U L A N D A , J o s e L u d e y . 2 0 0 5 .***Fundamentos de la Corrosion*. Espana : Aguilas, 2005.

**P E N N I S I , M a r i o . 2 0 0 1 .***A N O D I S I N G*. 2001.

**P O R R A S , P i e d r a . 2 0 1 0 .***Control inteligente de la propagación por nebulización*. 2010.

**R A M I R E Z , A n g e l . 2 0 1 2 .** Mecanica de fluidos. Riobamba : s.n., 02 de Marzo de 2012.

**R O D E S , Y a n e t . 2 0 1 0 .** redalyc. [En línea] 10 de JUNIO de 2010.  
<http://www.redalyc.org/pdf/2230/223017807002.pdf>.

**S U M I T E C . 2 0 1 2 .** [En línea] SEPTIEMBRE de 2012. <http://www.sumiteccr.com/>.

**V A L E N C I A , U n i v e r s i d a d P o l i t é c n i c a d e . 2 0 1 0 .**  
[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12\\_4\\_4.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_4_4.html). *UPV*. [En línea] 2010.

## **L I K O G R A F Í A**

<http://www.bdigital.unal.edu.co/5626/>

<http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/tipos>

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12\\_4\\_4.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_4_4.html)

<http://books.google.es/books?isbn=8426718469>

<http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/tipos>

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12\\_4\\_8.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_4_8.html)

[http://www.aiaa.es/pdf%20REVISTA/79\\_ABRIL\\_2009.pdf](http://www.aiaa.es/pdf%20REVISTA/79_ABRIL_2009.pdf)

<http://www.metalsprayperu.com/>

<http://www.uclm.es>

<http://www.redalyc.org/pdf/2230/223017807002.pdf>

<http://es.scribd.com/doc/80494302/Corrosion-Monitoring-Spanish>

<http://www.sumiteccr.com/>

[http://iirsacero.com.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=28&Itemid=4](http://iirsacero.com.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=28&Itemid=4)

